



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**Facultad Tecnología de la Construcción**

**Monografía**

**“ESTUDIO DE MANEJO INTEGRAL, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL  
DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y SUBPRODUCTOS DE LOS  
MISMOS, EN EL MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, DEPARTAMENTO DE  
ESTELÍ AÑO 2019”**

Para optar al Título de Ingeniero Civil

**Elaborado por**

Br. Veyra Mileiding Zambrana Espinoza

Br. Jansi Samaria Castillo Benavidez

**Tutor**

PhD. Edouard Jacotin

Managua, febrero de 2020



## DEDICATORIA

A Dios, quien me ha guiado e iluminado durante este proceso de formación profesional.

A mis padres: **Jarvin Ariel Zambrana Centeno & Veira Deidania Espinoza Cruz**, ejemplos a seguir que con amor y empeño me han apoyado de manera incondicional en este proyecto de vida, contribuyendo en gran manera a mi formación.

A mis hermanos, quienes han sido mi inspiración durante este proceso.

A **Luis Miguel Castellón**, quien me ha brindado su apoyo incondicional siempre, siendo parte fundamental e inspirándome en mi proyecto de vida.

A **Pedro Zambrana, Angela Espinoza**, seres especiales en mi vida que me han brindado su amor y apoyo.

A mi compañera de tesis **Jansi Samaria Castillo Benavidez** por su excelente desempeño y amistad, quien me ha acompañado durante todo este periodo de formación.

**Br. Veyra Mileiding Zambrana Espinoza.**

## DEDICATORIA

EL presente trabajo lo dedico principalmente a Dios por darme la sabiduría e inteligencia para seguir adelante en este proceso.

A mis padres: **Bernardo Catillo Orozco** y **Mayra Benavidez Salgado**, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, por inspirarme cada día a continuar y no decaer en los momentos más difíciles de nuestra vida.

A mis hermanas **Angie Castillo** y **Kenyi Castillo**, por recordarme cada día que debo ser un ejemplo a seguir para ellas e inspirarles alcanzar sus metas.

A mi amiga y compañera de tesis **Veyra Zambrana**, quien ha sido de gran importancia durante este proceso además de ser una excelente persona.

A mis amigas **Xochilt Rugama** y **Zeneyda Tinoco** con quienes compartí muchos momentos importantes de mi vida, las alegrías y tristezas durante nuestra carrera, al igual que todos mis compañeros de estos 5 años, por saber que, aunque estemos lejos siempre los tendré presente.

A **Harold Cruz** por demostrarme que con perseverancia todo se puede.

A demás familiares y amistades que son especiales en mi vida y que de alguna manera me apoyaron brindando su tiempo y conocimiento, así como ese apoyo moral tan fundamental para nuestra vida.

**Gracias a todos.**

**Br. Jansi Samaria Castillo Benavidez**

## **AGRADECIMIENTO**

En la realización de esta tesis monográfica, significa la culminación de nuestra ardua carrera universitaria en ingeniería civil, en donde nos topamos con muchas barreras las cuales fueron superadas con gran esfuerzo y empeño.

Nuestro agradecimiento al **Ing. Eduard Jacotín** por su colaboración, entrega y dedicación como tutor de nuestra tesis quien nos ayudó en el ámbito de opiniones, ensayos y revisión de nuestros avances, aportando sus valiosos conocimientos durante el proceso de elaboración de este tema investigativo.

Nuestro agradecimiento al **Ing. Johny Carrasco** por su apoyo y por brindarnos de sus conocimientos en la realización de este trabajo.

Los agradecimientos son muchos; pero el espacio es poco, cuanto quisiéramos poder poner en esta página a todas las personas que nos estiman, nos quieren, que hasta sienten suyo este logro. Por lo mucho que los apreciamos, les brindamos nuestro más sincero agradecimiento.

**Br. Veyra Mileiding Zambrana Espinoza.**

**Br. Jansi Samaria Castillo Benavidez.**

## **RESUMEN**

El presente estudio se realizó en el casco urbano del municipio de San Juan de Limay departamento de Estelí, con el fin de diseñar un relleno sanitario que permita almacenar los desechos sólidos que genera la población y así mitigar y/o disminuir los impactos negativos que pueden provocarse al seguir desarrollando un manejo inadecuado de los residuos sólidos del municipio, mediante la utilización del método de trincheras.

Se presenta al lector de manera detallada la clasificación y características de los residuos y rellenos sanitarios, así como sus métodos de diseño, de manera que se pueda comprender a cabalidad la finalidad de este trabajo investigativo monográfico desde conocimientos básicos.

Este trabajo se llevó a cabo atendiendo la necesidad de establecer un plan de manejo integral de residuos sólidos en el municipio, donde se elaboró un diagnóstico acerca del estado actual de la gestión de los residuos sólidos incluyendo aspectos de manipulación y recolección de desechos sólidos, se desarrolló recolectando los residuos sólidos del casco urbano y se llevó a efecto la caracterización de los mismos mediante el método de cuarteo para después ser sometidos a un análisis de laboratorio.

Basados en criterios y parámetros de diseño, se procede a la realización de los cálculos de áreas y equipos requeridos, tomando en cuenta el volumen poblacional, así como la producción per cápita de los residuos sólidos, de igual manera se realizó un estudio de suelo y levantamiento topográfico asegurando el menor impacto ambiental posible que pudiese causar el proyecto durante la etapa de operación.

Se presenta una propuesta de ruta para recolección de los residuos sólidos en el municipio dividiendo el mismo en dos grandes sectores que serán atendidos días

martes y viernes respectivamente realizando un macro y micro ruteo utilizando un vehículo recolector y personal capacitado para dicho trabajo.

Se diseñó un sistema de tratamiento y disposición de los lixiviados que se crean en el proceso de descomposición de los residuos depositados, así como un sistema de drenaje pluvial externo e interno para evacuar las aguas a drenajes naturales; además se diseñó un sistema de drenaje de gases producidos por la descomposición de los residuos sólidos.

Cabe recalcar que este proyecto ayudará a la población del municipio de San Juan de Limay a tener una mejor gestión de los residuos lo que facilitará que puedan deshacerse de sus desechos sólidos sin contaminar el medio ambiente.

## Tabla de contenido

<b>CAPITULO 1. GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2.ANTECEDENTES.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3.JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4.OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.1. Objetivo general.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.2. Objetivos específicos .....</b>	<b>4</b>
<b>CAPITULO 2. DESCRIPCIÓN DE SITIO .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.Delimitación espacial.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1. Localización del área de estudio .....</b>	<b>6</b>
<b>CAPITULO 3. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. Organización y planificación .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1.1. Estudio de mercado .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1.1.2. Estudio técnico.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1.3. Estudio financiero .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2. Los residuos sólidos en el ámbito nacional .....</b>	<b>10</b>
<b>3.3. Manejo de los residuos sólidos urbanos .....</b>	<b>10</b>
<b>3.4. Efectos del inadecuado manejo de los residuos sólidos .....</b>	<b>14</b>
<b>3.5. Los residuos sólidos y el medio ambiente .....</b>	<b>14</b>
<b>3.5.1. Efectos .....</b>	<b>15</b>
<b>3.6. Relleno sanitario .....</b>	<b>16</b>
<b>3.6.1. Descripción procesal del sistema de tratamiento esquematizado .....</b>	<b>18</b>
<b>3.7. Lixiviado o percolado.....</b>	<b>20</b>
<b>3.8. Marco legal para el manejo de los residuos sólidos .....</b>	<b>20</b>



<b>CAPITULO 4. DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>22</b>
<b>4.1.Delimitación del alcance del estudio.....</b>	<b>22</b>
<b>4.1.1. Delimitación temporal .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2.Determinación del tipo de estudio .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2.1. Experimental .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2.2. Investigación descriptiva .....</b>	<b>22</b>
<b>4.3.Materiales y métodos.....</b>	<b>22</b>
<b>4.4.Contenidos .....</b>	<b>24</b>
<b>4.4.1. Determinación del tamaño de la muestra .....</b>	<b>24</b>
<b>4.4.2. Metodología de caracterización método del cuarteo.....</b>	<b>24</b>
<b>4.4.2.1. Realización de muestreo para caracterización .....</b>	<b>24</b>
<b>4.4.3. Caracterización de los RSU para determinar sus parámetros fisicoquímicos .....</b>	<b>26</b>
<b>4.4.3.1. Producción per cápita por día (PPC) .....</b>	<b>26</b>
<b>4.4.3.2. Método para determinar la densidad de los residuos .....</b>	<b>27</b>
<b>4.4.3.3. Prueba de composición física (Fisicoquímica).....</b>	<b>28</b>
<b>4.4.3.4. Prueba de la humedad .....</b>	<b>29</b>
<b>4.4.3.5. Método para estimar el poder calorífico de los residuos .....</b>	<b>30</b>
<b>4.5.Estudios básicos en sitio seleccionado .....</b>	<b>31</b>
<b>4.5.1. Estudio de suelo .....</b>	<b>31</b>
<b>4.5.1.1. Método de ensayo para análisis granulométrico ASTM D 422-63.....</b>	<b>32</b>
<b>4.5.1.2. Método para ensayo de límites de consistencia ASTM D .....</b>	<b>38</b>
<b>4.5.1.3. Permeabilidad del suelo .....</b>	<b>41</b>
<b>4.5.2. Levantamiento Topográfico .....</b>	<b>44</b>
<b>4.6.Gestión integral de residuos solidos .....</b>	<b>45</b>

<b>4.6.1. Generación y características de los RSU .....</b>	<b>45</b>
<b>4.6.2. Generación de los RSU .....</b>	<b>45</b>
<b>4.6.3. Servicio de recolección.....</b>	<b>46</b>
<b>4.6.4. Instrumentos de almacenamiento de los RSU .....</b>	<b>47</b>
<b>4.6.5. Almacenamiento en el origen o in situ .....</b>	<b>47</b>
<b>4.7. Estudio de mercado.....</b>	<b>48</b>
<b>4.7.1. Demanda.....</b>	<b>48</b>
<b>4.7.2. Oferta .....</b>	<b>48</b>
<b>4.7.3. Comercialización .....</b>	<b>48</b>
<b>4.7.4. Precios.....</b>	<b>49</b>
<b>4.7.5. Estudio técnico .....</b>	<b>49</b>
<b>4.7.5.1. Equipo y sistemas de recipiente estacionario camión con mecanismo de plataforma de volteo .....</b>	<b>49</b>
<b>4.7.5.2. Metodología de recolección de RSU.....</b>	<b>50</b>
<b>4.7.5.3. Zona de ubicación .....</b>	<b>51</b>
<b>4.7.5.4. Procesado de residuos sólidos.....</b>	<b>51</b>
<b>4.7.5.5. Aspectos socioeconómicos.....</b>	<b>52</b>
<b>4.7.5.6. Aspectos organizacionales .....</b>	<b>54</b>
<b>4.7.5.7. Aspectos legales .....</b>	<b>55</b>
<b>4.7.6. Estudio financiero .....</b>	<b>56</b>
<b>4.7.6.1. Inversión Inicial .....</b>	<b>57</b>
<b>4.8. Disposición final .....</b>	<b>57</b>
<b>4.8.1. Proceso de diseño de disposición final de los residuos sólidos generados en el municipio de San Juan de Limay.....</b>	<b>57</b>
<b>4.8.1.1. Período de diseño .....</b>	<b>57</b>
<b>4.8.1.2. Volumen de tierra de cobertura .....</b>	<b>57</b>

4.8.1.3. Selección del sitio .....	58
4.8.1.4. Análisis confirmativo del proceso de evaluación del sitio .....	58
4.8.2. Diseño y construcción del relleno sanitario.....	58
4.8.2.1. Método del RSM a utilizar .....	58
4.8.2.2. Preparación del terreno .....	59
4.8.3 Diseño del relleno.....	59
4.8.3.1. Dimensionamiento de Trincheras .....	59
4.8.4. Proceso de cálculo del relleno sanitario .....	60
4.8.4.1.Cálculo del área requerida.....	60
4.8.4.2.Tamaño de las celdas .....	61
4.8.4.3.Drenaje pluvial .....	61
4.8.4.4.Drenaje perimetral externo .....	61
4.8.4.5.Vías de acceso internas.....	62
4.8.4.6.Drenaje y tratamiento del líquido percolado .....	63
4.8.4.7.Calidad de los lixiviados.....	63
4.8.4.8.Estimación de volumen de lixiviados generado por el relleno sanitario	
64	
4.8.4.9.Cálculos para la red de recolección de lixiviados .....	65
4.8.5. Conceptualización de la red de recolección .....	65
4.8.5.1.Diseño de la red.....	66
4.8.6.Drenaje y producción de gases .....	67
4.8.6.1.Producción de gases .....	67
4.8.7.Sistema de tratamiento de lixiviados.....	70
4.8.7.1.Adecuación Económico-Constructiva de la Fosa Séptica.....	70
4.8.7.2.Criterios de diseño .....	71

<b>4.8.7.2.Procedimientos seguidos para el diseño del sistema .....</b>	<b>71</b>
<b>4.8.7.2.1.Cálculo de la fosa séptica.....</b>	<b>71</b>
<b>4.8.7.2.2.Sistemas de disposición de los efluentes líquidos finales de los lixivias del relleno sanitario de San Juan de Limay .....</b>	<b>73</b>
<b>4.8.8.Propuesta de ruta para barrido y recolección. ....</b>	<b>73</b>
<b>4.8.8.1.Verificación de rutas .....</b>	<b>74</b>
<b>4.8.9.Construcciones accesorias .....</b>	<b>75</b>
<b>4.9.Presupuesto .....</b>	<b>75</b>
<b>CAPITULO 5. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>76</b>
<b>5.1. Determinación de población para diagnóstico .....</b>	<b>76</b>
<b>5.2. Cálculos para residuos sólidos generados en San Juan de Limay .....</b>	<b>76</b>
<b>5.2.1. Muestra para caracterización .....</b>	<b>76</b>
<b>5.2.2. Calculo de producción per cápita .....</b>	<b>77</b>
<b>5.2.3. Densidad de residuos .....</b>	<b>83</b>
<b>5.2.4. Composición física de los residuos .....</b>	<b>85</b>
<b>5.3. Estudios realizados.....</b>	<b>86</b>
<b>5.3.1. Contenido de humedad natural en residuos solidos .....</b>	<b>86</b>
<b>5.3.2. Humedad natural en el suelo.....</b>	<b>86</b>
<b>5.3.3. Granulometría .....</b>	<b>88</b>
<b>5.3.4. Compactación (próctor modificado).....</b>	<b>92</b>
<b>5.3.5. Límites de consistencia .....</b>	<b>96</b>
<b>5.3.6. Permeabilidad del suelo .....</b>	<b>98</b>
<b>5.4. Servicio de recolección .....</b>	<b>99</b>
<b>5.4.1. Calculo de unidades requeridas para recolección de residuos .....</b>	<b>99</b>
<b>5.4.2. Capacidad optima de unidad de recolección.....</b>	<b>105</b>

<b>5.4.3. Proyección de población .....</b>	<b>108</b>
<b>5.5. Proceso de diseño para disposición final de residuos .....</b>	<b>109</b>
<b>5.5.1. Descripción de los resultados de la evaluación del sitio de disposición final de los desechos sólidos.....</b>	<b>109</b>
<b>5.5.2. Calculo de área requerida.....</b>	<b>111</b>
<b>5.5.3. Tiempo de maquinaria requerido por zanja .....</b>	<b>115</b>
<b>5.5.4. Drenaje pluvial .....</b>	<b>119</b>
<b>5.5.4.1. Cálculo de coeficiente de escorrentía .....</b>	<b>119</b>
<b>5.5.4.2. Drenaje perimetral externo .....</b>	<b>120</b>
<b>5.5.4.3. Drenaje pluvial interno .....</b>	<b>124</b>
<b>5.5.5. Drenaje y tratamiento de lixiviados .....</b>	<b>129</b>
<b>5.5.5.1. Volumen de Lixiviados método KPA .....</b>	<b>129</b>
<b>5.5.5.2. Volumen de lixiviado método PERC .....</b>	<b>130</b>
<b>5.5.5.3. Determinación del caudal de diseño .....</b>	<b>131</b>
<b>5.5.5.4. Drenaje y disposición de líquido percolado .....</b>	<b>131</b>
<b>5.5.5.5. Diseño de red de lixiviados .....</b>	<b>132</b>
<b>5.5.5.6. Principios de funcionamiento del sistema de tratamiento .....</b>	<b>136</b>
<b>5.5.5.7. Calculo de fosa séptica.....</b>	<b>136</b>
<b>5.5.5.8. Dimensionamiento de los reactores .....</b>	<b>137</b>
<b>5.6. Control del sistema de tratamiento .....</b>	<b>142</b>
<b>5.6.1. Dispositivos de control y limpieza del sistema.....</b>	<b>142</b>
<b>5.6.2. Dispositivos de conducción y control de flujo .....</b>	<b>142</b>
<b>5.6.3. Caja de distribución de flujo.....</b>	<b>143</b>
<b>5.6.4. Diseño estructural del sistema.....</b>	<b>143</b>
<b>5.6.5. Diseño del campo de eliminación horizontal para los efluentes finales de los lixiviados.....</b>	<b>144</b>

<b>5.6.5.1. Calculo del área de infiltración de tanque séptico y su respectivo FAFA</b>	<b>145</b>
<b>5.7. Cálculo de producción de metano en San Juan de Limay</b>	<b>147</b>
<b>5.7.1. Drenaje de gases</b>	<b>151</b>
<b>5.8. Presupuesto</b>	<b>152</b>
<b>5.9. Estudio financiero para cálculo de tarifa</b>	<b>156</b>
<b>5.9.1. Administración económica del servicio</b>	<b>157</b>
<b>5.9.2. Estudio tarifaría y estrategia de cobro</b>	<b>157</b>
<b>CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>157</b>
<b>6.1. CONCLUSIONES</b>	<b>157</b>
<b>6.2. RECOMENDACIONES</b>	<b>158</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>159</b>

## Índice de anexos

<b>Anexo A: encuestas realizadas a población muestral .....</b>	<b>I</b>
<b>Anexo B: Datos de proceso de cálculo .....</b>	<b>X</b>
<b>Anexo C: mapa de zonificación San Juan de Limay .....</b>	<b>XXI</b>
<b>Anexo D: Propuesta de ruta para recolección de residuos sólidos .....</b>	<b>XXII</b>
<b>Anexo E: Fotográfico .....</b>	<b>XXIII</b>
<b>F: Planos topográficos y diseño de trincheras.....</b>	<b>XXV</b>

## Índice de figuras

<b>Ilustración 1: Macro localización de la zona de estudio.....</b>	<b>6</b>
<b>Ilustración 2: Micro localización de la zona de estudio.....</b>	<b>7</b>
<b>Ilustración 3: Sistema de gestión de los desechos sólidos.....</b>	<b>13</b>
<b>Ilustración 4: Procedimiento del Método del Cuarteo .....</b>	<b>27</b>
<b>Ilustración 5: simbología para calcular permeabilidad en suelo .....</b>	<b>42</b>
<b>Ilustración 6: aceptación de coeficiente para relleno sanitario .....</b>	<b>43</b>
<b>Ilustración 7: Diagrama organizacional para la recolección de residuos sólidos .</b>	<b>55</b>
<b>Ilustración 8: Composición optima de biogás en una celda de relleno sanitario..</b>	<b>69</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> Población muestral para caracterización de residuos sólidos.....	76
<b>Tabla 2:</b> Producción per cápita de San Juan de Limay.....	77
<b>Tabla 3:</b> Densidad suelta de residuos en San Juan de Limay .....	83
<b>Tabla 4:</b> Tabla de composición física de residuos en San Juan de Limay.....	85
<b>Tabla 5:</b> Tabla de contenido de humedad en residuos solidos .....	86
<b>Tabla 6:</b> Tabla de unidades requeridas para recolección .....	99
<b>Tabla 7:</b> Cálculo de capacidad optima de unidad por itinerario de ruta .....	105
<b>Tabla 8:</b> Proyección de población.....	108
<b>Tabla 9:</b> Evaluación de sitio para disposición de residuos sólidos.....	109
<b>Tabla 10:</b> Calculo de áreas requeridas para el relleno sanitario .....	111
<b>Tabla 15:</b> Factores para el cálculo de coeficiente de escorrentía .....	119
<b>Tabla 11:</b> Caudal de diseño para canal perimetral externo .....	120
<b>Tabla 12:</b> Diseño de canal para drenaje pluvial externo .....	122
<b>Tabla 13:</b> Caudales de diseño para drenaje pluvial interno .....	124
<b>Tabla 14:</b> Diseño de canal para drenaje pluvial interno .....	128
<b>Tabla 16:</b> Parámetros de residuos sólidos San Juan de Limay .....	129
<b>Tabla 17:</b> Método PERC paca caudal de lixiviados .....	130
<b>Tabla 18:</b> Base de datos para cálculo de red de lixiviados .....	132
<b>Tabla 19:</b> Nodos para red de recolección de lixiviados.....	133
<b>Tabla 20:</b> Resultados de red de recolección de lixiviados .....	134
<b>Tabla 21:</b> Dimensiones de tanques sépticos del primer período .....	140
<b>Tabla 22:</b> Dimensiones del FAFA del primer período .....	141
<b>Tabla 23:</b> Producción de gases en San Juan de Limay.....	147
<b>Tabla 24:</b> Cálculo de presupuesto para ejecutar el relleno sanitario en San Juan de Limay.....	152
<b>Tabla 25:</b> Tabla costo beneficio operacional de relleno sanitario .....	157



## **CAPITULO 1. GENERALIDADES**

## **1.1.INTRODUCCIÓN**

El inadecuado manejo de los residuos sólidos en el país está afectando a las ciudades y sus municipios; como en el caso de San Juan de Limay, donde existe una evidente falta de criterios técnicos, económicos y sociales, lo cual ha ocasionado que este servicio carezca de una adecuada planificación y organización, provocando así altos costos en su funcionamiento, que ha tenido que subsidiar la municipalidad consumiendo buena parte de su presupuesto.

Lo anterior hace necesario el uso de mecanismos para disponer de residuos sólidos sin afectar la salud poblacional y al medio ambiente, mediante un plan de gestión, brindando de esta manera oportunidades financieras. Es imprescindible entonces, tener los procedimientos claros que apoyen la definición de un relleno sanitario, metodologías que determinen estrategias correctas de clasificación de los insumos como el método de cuarteo, estudio de mercado y financiero, así como definición de herramientas para mitigar efectos de la gestión de los residuos.

Es también evidente lo complejo que se torna para los líderes de estado que no cuentan con planes de desarrollo manejar, tratar y realizar la disposición final de los residuos sólidos generados, así como de los subproductos de los mismos. La selección de sitio de disposición final adecuado suele ser dificultoso debido a: 1) la ausencia de aplicación de criterios técnicos para realizarlo, 2) las dificultades de compra de terrenos para implementar una obra de esta naturaleza, pierden valores los terrenos adyacentes al mismo y 3) finalmente la fama adquirida en concepto de daños ambientales que producen los botaderos a cielo abiertos y los rellenos sanitarios mal implementados (a nivel de diseño y construcción).

Por lo tanto, en este trabajo de investigación se plantea implementar un proyecto de manejo integral de los residuos sólidos urbanos del municipio de San Juan de Limay, con el propósito de reducir el volumen de los residuos mezclados, que serán

dispuestos en el relleno sanitario, aumentando el tiempo de vida cronológicamente útil de éste y disminuyendo la contaminación al medio ambiente.

## **1.2.ANTECEDENTES**

A partir de los años noventa, el problema de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se ha convertido en uno de los primeros temas de agenda en el ámbito global.

Recientemente en el municipio de San Juan de Limay, a pesar que ha sido bastante limpio, existen vertederos de basura tanto legales (aprobados por la municipalidad) como ilegales que comúnmente se ubican en terrenos baldíos, áreas verdes, cauces y calles del municipio, pero el mayor problema consiste en que se ha ido incrementando la acumulación de los desechos sólidos o RSU mezclados inaprovechados.

En Nicaragua se desconoce el grado de deterioro ambiental que provoca inadecuado manejo de los residuos sólidos, al igual que en otros países del istmo y de la región, actualmente, según la alcaldía municipal de San Juan de Limay, en el municipio se requieren alrededor de 20,000 córdobas para realizar actividades de limpieza de cauces y cunetas durante la temporada de invierno.

Nicaragua contiene alrededor de 30 ciudades con relleno sanitario que se encuentran funcionando. En la zona del pacifico entre 1995-1996 se diseñaron 12 rellenos los cuales en 3 años fueron abandonados, en 1999 se reformo el programa para rehabilitarlos.

Somotillo, perteneciente al departamento de Chinandega, cuenta con un relleno sanitario en funcionamiento, éste recoge residuos de 6 municipios de este departamento.

En Managua se realizó el cierre de conversión y reconexión para el relleno sanitario “La Chureca”, este fue diseñado para un periodo de vida útil de 5 años.

En San Juan de Limay desde su fundación, los RSU eran muy esporádicos, pero recientemente han aumentado por factores como: índice de migración rural hacia el municipio, la progresiva expansión de sus asentamientos y sus actividades productivas.

En el 2016, la alcaldía municipal de San Juan de Limay a través del Sistema Nacional de Capacitación Municipal (SINACAM) realizó capacitación a los responsables y directores de los servicios municipales con el propósito de adquirir más información sobre los diagnósticos de la producción de residuos sólidos domiciliarios y su situación de manejo, con el objetivo de obtener los criterios de diseño para un relleno sanitario. A pesar de estos esfuerzos, el municipio aún no cuenta con un relleno sanitario (Alcaldía Municipal de San Juan de Limay, 2017).

En el 2012 se realizó un estudio de pre-factibilidad para la construcción de un relleno sanitario en el municipio de Estelí, con el propósito de describir las condiciones técnicas, económicas y ambientales para construir un nuevo relleno sanitario, ya que el existente presentaba un riesgo ambiental y tenía una corta vida útil (Sierra Mercado, 2012).

### **1.3.JUSTIFICACIÓN**

El propósito de esta investigación es establecer el manejo integral, tratamiento y disposición final de los RSU en el municipio de San Juan de Limay, además brindar propuestas de alternativas tecnificadas para la problemática de los residuos, evaluando las técnicas adecuadas de tratamiento para que el sistema se adapte a las características propias de estos.

Al realizarse el proyecto se generan beneficios relevantes como ofrecer el aprovechamiento de los RSU mediante un relleno sanitario, de esta manera los

residuos serán manejados en forma correcta, mejorando su gestión, se reducirán posibles brotes de enfermedades o epidemias y la deshumanización de la sociedad, los rellenos ilegales se reducirán considerablemente, el municipio será estéticamente más limpio y el bienestar de los pobladores se verá mejorado significativamente.

La instalación de un relleno sanitario provee apoyo a la alcaldía del municipio en la gestión de los residuos sólidos, además de minimizar en cierto grado el atraso que resulta de la pobreza mediante generación de empleos proporcionando ingresos a algunas familias, esto ayudará al incremento de la economía comunitaria en conjunto con beneficios ambientales y culturales.

Al instalar un relleno sanitario previamente diseñado e implementar modelos para la gestión de los residuos sólidos en el municipio, se mejorará de forma moderna y renovadora la disposición final de los desechos, manteniendo limpio el ecosistema y protegiendo los recursos hídricos con los que cuenta la municipalidad.

## **1.4.OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Realizar un estudio de manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos y los subproductos de los mismos, en el municipio de San Juan de Limay, departamento de Estelí, año 2019.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

1. Elaborar un diagnóstico de la situación actual de la recolección y manejo de los desechos sólidos, identificando las necesidades de la población.

2. Caracterizar las propiedades físicas y químicas que presentan los insumos (los residuos sólidos en esta localidad), clasificándolos a través del método de cuarteo.
3. Realizar el levantamiento topográfico en el sitio seleccionado para el relleno sanitario.
4. Definir las condiciones técnicas y financieras, determinando espacios, equipos, personal y requerimientos de seguridad para la funcionalidad correcta de la planta y el modelo o esquema requerido que haga viable el financiamiento del proyecto.
5. Diseñar una propuesta de disposición final de los desechos sólidos en el municipio.
6. Elaborar una propuesta de ruta para la recolección de los residuos sólidos en el municipio para su posterior separación.

## **CAPITULO 2. DESCRIPCIÓN DE SITIO**





➤ **Topografía del municipio:** Su topografía es muy quebrada (60% del territorio municipal). En el centro del municipio se encuentra un valle de aproximadamente 10,000 hectáreas, en parte de esta planicie se ubica el casco urbano. La cabecera municipal se encuentra a 281 m.s.n.m. en el oriente del municipio, colindante con el municipio de Estelí, se observan las mayores alturas, entre las que podemos mencionar Las Mesas del Horno (1,352 m.s.n.m) y la Loma El Zapote (1,312 m.s.n.m); los suelos del Municipio de San Juan de Limay son muy áridos.

#### **Ilustración 2:** Micro localización de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

El sitio propuesto para la construcción del relleno sanitario se encuentra ubicado a 4 km al suroeste del casco urbano del municipio de San Juan de Limay a una altitud de 292 m.s.n.m con coordenadas de N 13°10'09"; O 86°37'29".

### **CAPITULO 3. MARCO TEÓRICO**

## MARCO TEÓRICO

El presente capítulo de este trabajo de investigación, hace referencia al soporte conceptual de los términos que serán utilizados en el planteamiento y elaboración de la metodología.

El plan de manejo integral de residuos sólidos urbanos es un instrumento de gestión que surge de un proceso de coordinación, que promueve una adecuada gestión y manejo de los residuos, asegurando eficiencia, eficacia y sostenibilidad, desde que son generados hasta su disposición final (Ministerio de ambiente, 2013).

### 3.1. Organización y planificación

Corresponde la preparación inicial, desde las coordinaciones para la organización, hasta la planificación.

**3.1.1. Estudio de mercado:** Es denominada la primera parte de la investigación en un estudio. Consta básicamente de la determinación y cuantificación de la demanda y oferta, el análisis de los precios y estudios de comercialización (Baca Urbina, 2001).

**3.1.1.2. Estudio técnico:** En el análisis de la viabilidad financiera de un proyecto, el estudio técnico tiene por objeto proveer información para cuantificar el monto de las inversiones y de los costos de operación pertinentes a esta área (Guardado Aguilar & Morales Gomez, 2017).

(Baca Urbina) Subdivide el análisis de estudio técnico en las siguientes fases:

➤ **Determinación de la localización óptima del proyecto:** Es necesario tomar en cuenta no solo factores cuantitativos, sino también de factores cualitativos como apoyos, fiscales, clima, actitudes de la comunidad, entre otros.

➤ **Ingeniería del proyecto:** Existen diversos procesos productivos opcionales, que son automatizados y manuales. La elección de uno de ellos dependerá de la disponibilidad de capital, de igual manera se engloba el análisis de selección de equipos necesarios dada la tecnología seleccionada y la distribución de los equipos.

**3.1.3. Estudio financiero:** El objetivo del estudio económico es ordenar y sistematizar la información de carácter monetario que proporcionan las etapas anteriores y elaborar los cuadros analíticos que sirven de base para la evaluación económica.

El Banco Interamericano de Desarrollo (1997) clasifica los residuos sólidos de acuerdo a su:

- **Origen:** Domiciliar, industrial, comercial, institucional y público.
- **Composición:** Materia orgánica vidrio, metal, papel, plástico, cenizas polvo.

La generación de desechos sólidos se da en todas aquellas actividades en las que los materiales son considerados sin ningún valor adicional por su propietario o proveedor y pueden ser abandonados o recogidos para su tratamiento o disposición final (Jaramillo, 1999).

Otra característica relevante es la densidad de los residuos sólidos, es la relación que existe entre la masa de los residuos y el volumen que ocupan; se expresa en  $\text{kg/m}^3$  la densidad de los residuos sólidos varía significativamente con las condiciones climáticas, el tiempo de almacenamiento, sobre todo, con los componentes individuales que se encuentran dentro de los residuos sólidos (Gutierrez Zarruk & Pereira Cardenal, 2004).

La producción per cápita de los residuos sólidos es un término usado para medir la cantidad de producción por persona entre un determinado número de habitantes.

### **3.2. Los residuos sólidos en el ámbito nacional**

En Nicaragua la población en su gran mayoría no posee una cultura de separación de los diferentes materiales, ni se conocen las proporciones de los diferentes materiales en los residuos, por lo que, para poder proponer sistemas de manejo de residuos, se deben aplicar métodos de clasificación en muestras estadísticas representativas; las universidades y las municipalidades usan el método de cuarteo.

Para abordar el manejo de los residuos sólidos municipales no es suficiente conocer los aspectos técnicos de la recolección, limpieza de calles y disposición final. Se requiere también aplicar los nuevos conceptos relacionados al financiamiento de los servicios, los enfoques de descongestión y mayor participación del sector privado, los factores de salud, del ambiente, de pobreza en áreas marginales urbanas y de educación y participación comunitaria (Rossin, Teixeira, Zepeda, & Acurio, 1997).

### **3.3. Manejo de los residuos sólidos urbanos**

En la Agenda 21 de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD-92) realizada en 1992 en Brasil, se estableció que el manejo de los residuos debe incluir la minimización en la producción, la separación, el reciclaje, la recolección, el tratamiento biológico, químico, físico o térmico y la disposición final adecuada. También se reiteró, que cada país y cada ciudad deberá establecer sus programas para lograr lo anterior, de acuerdo a sus (Administracion en articulos, 2004) (Alcaldía Municipal de San Juan de Limay, 2017) condiciones locales y sus capacidades económicas y sociales, de conformidad con las metas a corto y mediano plazo.

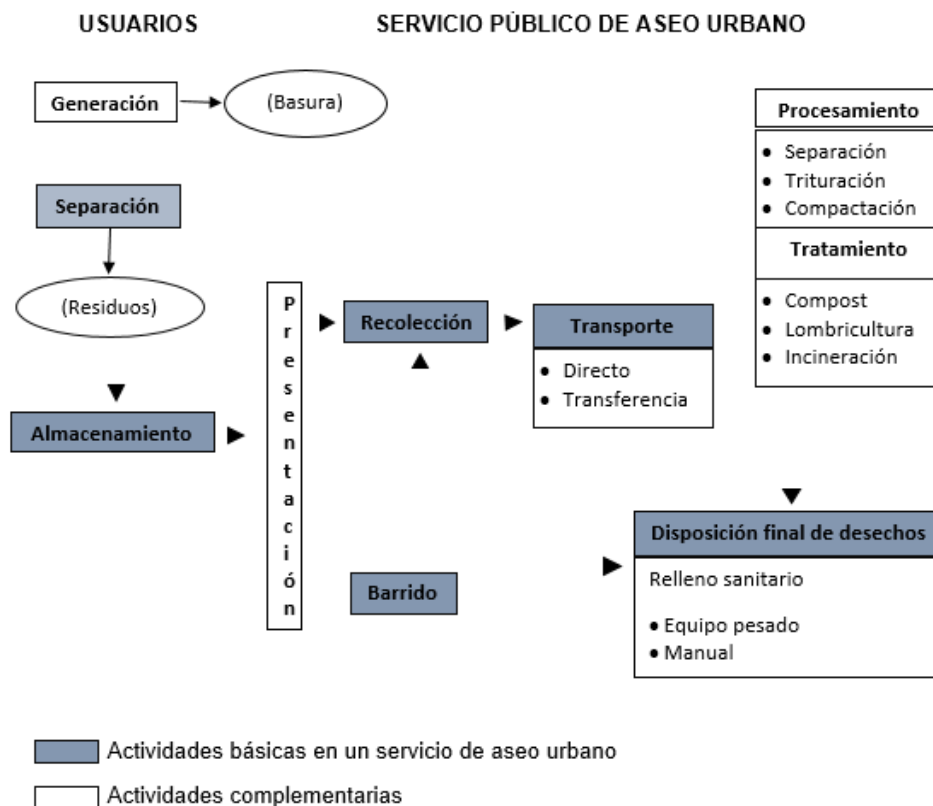
Según (Jaramillo, 1999) el sistema de gestión de los residuos sólidos se compone básicamente de los siguientes componentes:

- **Generación:** Cualquier persona o institución cuya acción cause la transformación de un material en un residuo. Una institución usualmente se vuelve generadora cuando sus actividades y procesos da como resultado un residuo o cuando no utiliza más un material (desecho).
- **Separación:** Es el proceso de agrupación de los residuos no seleccionados a través de medios manuales y/o mecánicos para transformar residuos heterogéneos en diferentes grupos relativamente homogéneos.
- **Almacenamiento temporal:** Es la forma en que los residuos son acumulados durante un tiempo determinado antes de su recolección. Los recipientes utilizados para el almacenamiento temporal están en función del tipo de recolección a realizarse.
- **Barrido de calles:** Existen dos formas de realizar el barrido de calles, de forma manual y mecánica. El barrido mecánico requiere de mano de obra calificada, buen estado físico de las calles y un servicio adecuado de mantenimiento. A diferencia del barrido manual, que es empleado en todo el país, a pesar de sus bajos rendimientos ya que sólo se limita a las principales calles.
- **Recolección y transporte:** Es aquel medio que recoge el residuo y lo lleva a un sitio de transferencia, botadero a cielo abierto o disposición final.
- **Macro ruteo:** Se denomina macro rutas a la división de la ciudad en sectores operativos, a la determinación del número de camiones necesarios en cada una y a la asignación de un área del sector en cada vehículo recolector.
- **Micro ruteo:** el recorrido específico que deben cumplir diariamente los vehículos de recolección en las áreas de la población donde han sido asignados, con el fin de recolectar en la mejor manera posible los residuos sólidos generados por los habitantes de dicha área

- **Frecuencia de recolección:** La frecuencia consiste en la periodicidad con la que se realiza la recolección de residuos en los principales puntos: (domicilios, comercios, industrias, oficinas y hospitales), como son: una vez por semana, dos veces por semana etc.
- **Cuenca:** Una cuenca hídrica es un área de terreno que drena agua en un punto común como un arroyo, río o lago cercano.
- **Topografía:** Disciplina o técnica que se encarga de describir de manera detallada la superficie de un determinado terreno. Esta rama, hace foco en el estudio de todos los principios y procesos que brindan la posibilidad de trasladar a un gráfico las particularidades de la superficie, ya sean naturales o artificiales.
- **Mecánica de suelos:** Es un análisis que nos ayuda a conocer el tipo de material del que está compuesto el terreno donde pensamos ejecutar la obra, dentro de estos materiales podemos encontrar distintos tipos de arenas, arcillas y rocas.
- **Mecánica de fluidos:** Es la rama de la mecánica que estudia el movimiento de los fluidos (líquidos y gases), así como las fuerzas que lo provocan. Esto implica también las interacciones entre el fluido y el contorno que lo limita.
- **Bio gas:** Gas combustible que se forma a partir de la descomposición de materia orgánica (biomasa).
- **Lixiviados:** Líquido percolado a través de los residuos sólidos, en un relleno, compuesto por el agua de lluvia, humedad y descomposición orgánica, materiales disueltos y suspendidos.
- **Transferencia:** Es el traslado de los residuos sólidos desde un vehículo de recolección pequeño a uno de mayor capacidad.

- **Procesamiento:** Incluye la separación de los componentes de los residuos por su tamaño.
- **Tratamiento:** El tratamiento, incluye la selección y aplicación de tecnologías apropiadas para el control y tratamiento de los residuos peligrosos o de sus constituyentes. Estos pueden ser: Pre-tratamiento mecánico (tritución y compactación), tratamiento térmico (incineración, pirolisis y gasificación), tratamiento biológico (compostaje, lombricultura y digestión anaerobia o mecanización).
- **Disposición final:** Es la última etapa operacional en el sistema de gestión de los desechos sólidos, es el último destino de estos.

**Ilustración 3:** Sistema de gestión de los desechos sólidos.



**Fuente:** (Jaramillo, 1999)



### 3.4. Efectos del inadecuado manejo de los residuos sólidos

La situación de los residuos sólidos en la gran mayoría de los países, ha venido efectuándose debido al crecimiento poblacional e industrialización, los cambios de hábitos de consumo y la mejora del nivel de vida.

La importancia de los residuos sólidos como causa directa de enfermedades no está bien determinada; sin embargo, se les atribuye una incidencia en la transmisión de algunas de ellas. Para comprender con mayor claridad sus efectos en la salud de las personas, es necesario distinguir entre los riesgos directos e indirectos que provocan:

➤ **Riesgos directos:** Son los ocasionados por el contacto directo con los residuos sólidos, que en ocasiones contienen materiales peligrosos tales como vidrios rotos, metales, jeringas, excrementos de origen humano o animal e incluso residuos infecciosos de hospitales y residuos industriales. Las personas más expuestas a éstos son los recolectores y los segregadores.

➤ **Riesgos indirectos:** El riesgo indirecto más importante se refiere a la proliferación de vectores, portadores de microorganismos que transmiten enfermedades a toda la población. Estos vectores son moscas, mosquitos, ratas, cucarachas, entre otros, que encuentran en los residuos sólidos, lo que se convierte en un foco de transmisión de enfermedades, tanto leves como mortales.

### 3.5. Los residuos sólidos y el medio ambiente

Los residuos sólidos son causa de problemas ambientales importantes, el impacto de la generación y manejo de los residuos sólidos amenaza la sustentabilidad ambiental. El consumo y la contaminación fueron símbolos de la industrialización y, a partir de la década de 1970, los cambios en el ambiente comenzaron a adquirir

visibilidad y preocupación por la preservación del futuro (Rossin, Teixeira, Zepeda, & Acurio, 1997).

### 3.5.1. Efectos

El problema ocasionado por el mal manejo de los residuos sólidos, además de afectar la salud humana, está estrechamente relacionado con la contaminación del medio ambiente. Igualmente, está generando el deterioro estético de los centros urbanos y del paisaje natural de muchas ciudades. Lo anterior se agrava cuando se constata que, en la mayoría de ciudades, la disposición final de residuos sólidos municipales, se hace en forma conjunta e indiscriminada.

(Santos Mendieta, 2001) Refiere la contaminación de residuos sólidos al medio ambiente de la siguiente manera:

➤ **Agua:** El efecto ambiental más serio, pero menos reconocido es la contaminación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, por el vertimiento de basura a ríos y arroyos. La descarga de residuos sólidos a las corrientes de agua incrementa la carga orgánica que disminuye el oxígeno disuelto, aumenta los nutrientes que propician el desarrollo de algas y dan lugar a la eutrofización, causa la muerte de peces, genera malos olores y deteriora la belleza natural de este recurso. Por tal motivo, en muchas regiones las corrientes de agua han dejado de ser fuente de abastecimiento para el consumo humano o de recreación de sus habitantes.

La descarga de la basura en arroyos y canales o su abandono en las vías públicas, también trae consigo la disminución de los cauces y la obstrucción tanto de estos como de las redes de alcantarillado. En los periodos de lluvias, provoca inundaciones que pueden ocasionar la pérdida de cultivos, de bienes materiales y, lo que es más grave aún, de vidas humanas.

Es importante no pasar por alto la contaminación de las aguas subterráneas, conocidas como mantos freáticos o acuíferos, puesto que son fuentes de agua de poblaciones enteras. Las fuentes que son contaminadas implican consecuencias para la salud pública cuando no se tratan debidamente y grandes gastos de potabilización.

➤ **Suelo:** Otro efecto negativo fácilmente reconocible es el deterioro estético de los pueblos y ciudades, con la consecuente desvalorización, tanto de los terrenos donde se localizan los botaderos como de las áreas vecinas, por el abandono y la acumulación de desechos. Además, la contaminación o el envenenamiento de los suelos es otro de los perjuicios de dichos botaderos, debido a las descargas de sustancias tóxicas y a la falta de control por parte de la autoridad ambiental.

➤ **Aire:** Los desechos sólidos abandonados en los botaderos a cielo abierto deterioran la calidad del aire que respiramos, tanto localmente como en los alrededores, a causa de las quemas y los humos, que reducen la visibilidad, y del polvo que levanta el viento en los periodos secos, ya que puede transportar a otros lugares microorganismos nocivos que producen infecciones respiratorias e irritaciones nasales y de los ojos, además de las molestias que dan los olores pestilentes.

### **3.6. Relleno sanitario**

(Ruiz Escoto, Martínez Gallardo, & Torres Paya, 2013) Definen un relleno sanitario como una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar los desechos en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica. En la actualidad,

el relleno sanitario moderno se refiere a una instalación diseñada y operada como una obra de saneamiento básico, que cuenta con elementos de control lo suficientemente seguros y cuyo éxito radica en la adecuada selección del sitio, en su diseño y, por supuesto, en su óptima operación y control.

La digestión anaerobia, se puede definir como una fermentación bacteriana en ausencia de oxígeno, en la cual la materia orgánica es transformada principalmente en una mezcla de gases, en la que predominan principalmente el metano y dióxido de carbono.

"Fosa Séptica" es un sistema ampliamente probado como un tratamiento primario eficaz, que ayuda a eliminar los sólidos sedimentables y una porción de sólidos suspendidos y las grasas que se encuentran en el efluente. En la "Fosa Séptica" los Lixiviados (aguas residuales) son llevados a condiciones de reposo, lo que permite que haya una buena sedimentación de sólidos sedimentables y de los sólidos suspendidos; estos últimos se depositan en el fondo donde son degradados por microorganismos anaerobios especializados; para que estos sólidos sean bien digeridos, se requiere que permanezcan durante algún tiempo en el interior de la "Fosa". Luego de un tiempo razonable la "Fosa" deberá limpiarse, sin eliminar completamente el lodo del fondo de la misma para permitir una regeneración posterior de la masa bacterial.

El "Filtro Anaerobio" es una técnica en la cual se realiza o desarrolla un proceso biológico de depuración en ausencia de oxígeno molecular disuelto. El "Filtro" se basa en la posibilidad de lograr una alta concentración de "biomasa" (microorganismos) en el interior del mismo, esto se alcanza a través de los siguientes mecanismos:

➤ Adhesión de microorganismos a un medio de soporte, formando una película biológica.

- Reducción de distancia vectorial entre una colonia de microorganismos y otra.
- Atrapamiento de flóculos bacterianos en los intersticios del material que rellena el reactor.

La elevada concentración de microorganismos dentro del reactor permite que puedan alcanzarse bajos tiempos de retención hidráulica, altas eficiencias y rendimientos significativos en la producción de biogás.

Es importante que el medio filtrante posea una alta superficie específica y una amplia relación de vacíos, que permita una mayor superficie de contacto entre la capa biológica y el agua residual.

En el funcionamiento del "Filtro" intervienen los sólidos suspendidos inertes y los digeribles que sedimentan rápidamente y que se acumulan en los espacios intersticiales. Esta acumulación (cuando llega a presentarse, y esto sucede si no se coloca un pretratamiento que elimine los sólidos suspendidos), la dispersión hidráulica, la acción de mezcla de las burbujas de gas ascendente y otros factores son los causantes de cortocircuitos y de la desviación de flujo ideal.

Debido a que la digestión anaerobia es un proceso biológico complejo, se deben considerar factores que intervienen directamente en el funcionamiento de un sistema anaerobio.

### **3.6.1. Descripción procesal del sistema de tratamiento esquematizado**

**Pre-tratamiento:** Partiendo de una caja recolectora del caudal total, este se distribuye hacia una unidad de tratamiento (Fosa Filtro) trabajando con un caudal medio total.

En este sub-sistema de pre-tratamiento no estará incluido como de costumbre

trampa de grasas por la calidad de entrada de los lixiviados que aparecen en los pozos de visitas.

En el tanque séptico y la Fosa filtro se darán las operaciones y procesos siguientes:

**Operaciones:** Sedimentación discreta y sedimentación provocada por partículas floculadas en el recorrido anterior.

Toda esta operación estará condicionada por el tiempo de retención y por los diseños hidráulicos pertinentes.

**Procesos:** Relativo biodegradación y decrecimiento de carga orgánica por sedimentación.

Según expertos, se alcanza una disminución, por biodegradación mínima y sedimentación máxima, de la carga orgánica en un rango de 15 a 25% cuando el proceso y la operación se realizan en condiciones óptimas. Esto quiere decir que el objetivo principal del tanque séptico no es solo la biodegradación, sino que todas las modalidades de diseño, sean adaptadas para un proceso de sedimentación óptimo, o sea, bajar los Sólidos Sedimentables en un 95%.

Atendiendo los resultados anteriores, el efluente sale del tanque séptico todavía con un 75 a 85% de  $\text{DBO}_5$ , carga orgánica remanente destinada a ser removida en las siguientes etapas del tratamiento que son el Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) y eventualmente previo monitoreo de calidad de efluente en el futuro se sugiere un pos tratamiento si el caso lo amerita.

Tomando en cuenta las características de diseño del FAFA; el proceso se realiza en condiciones anaerobias. Participarán diversas familias de microorganismos estrictamente anaerobios, facilitando el binomio alimentación - degradación de la materia orgánica produciendo gases, lodos (pocos) y un efluente de buena calidad.

Son microorganismos especializados, dependiendo de la fuente de energía disponible.

**Biodegradación absoluta:** La etapa decisiva de biodegradación se realiza en un Filtro Anaerobia de Flujo Ascendente (FAFA). En números relativos, se estima 82.5% de carga orgánica remanente del efluente del sedimentador primario (proceso anterior), que quedarían reducidos al 17.5%.

**Proceso final pos-tratamiento:** Dicha remanencia representa 1137.5 mg/lit de DBO5, lo cual no supera el valor exigido por la norma para ser vertido en suelo y cuerpos de aguas que es 200 mg/lit de DBO5 máximo, por lo tanto, no es necesario implementar un sistema de laguna de estabilización.

### **3.7. Lixiviado o percolado**

La descomposición o putrefacción natural de los desechos produce un líquido maloliente de color negro, conocido como lixiviado o percolado, parecido a las aguas residuales domésticas, pero mucho más concentrado. Las aguas de lluvia que atraviesan las capas de desechos, aumentan su volumen en una proporción mucho mayor que la que produce la humedad de los mismos, de ahí que sea importante interceptarlas y desviarlas para evitar el incremento de lixiviado; de lo contrario, podría haber problemas en la operación del relleno y contaminación en las corrientes y nacimientos de agua y pozos vecinos (Ruiz Escoto, Martínez Gallardo, & Torres Paya, 2013).

### **3.8. Marco legal para el manejo de los residuos sólidos**

Las normativas que regulan el manejo de residuos sólidos a nivel nacional son las siguientes:

- **Constitución Política de Nicaragua.** Establece en el artículo 60 que los nicaragüenses tienen derecho de habitar en un ambiente saludable y que es obligación del Estado la preservación, conservación y rescate del medio ambiente y de los recursos naturales.

Con relación a los desechos sólidos las siguientes disposiciones:

- **Artículo 129:** Las alcaldías operan sistemas de recolección tratamiento y disposición final de los desechos sólidos no peligrosos del municipio, observando las normas oficiales emitidas por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA) y el Ministerio de Salud (MINSAL), para la protección del ambiente y la salud.
- **Decreto 9-96: Reglamento de la Ley General sobre Medio Ambiente y los Recursos Naturales.** Este reglamento establece las siguientes disposiciones relacionadas con la gestión de los desechos:
- **Artículo 269:** En el inciso 8, establece la función de la Dirección General de Calidad Ambiental (DGCA) del MARENA: Regular, controlar, normar y establecer procedimientos ambientales para el manejo de desechos sólidos municipales, comerciales, industriales y agrícolas en coordinación con las autoridades territoriales y proponer técnicas alternas de tratamiento, reciclaje y reducción.
- **NTON 05 013-01:** Norma Técnica para el Control Ambiental de los Rellenos Sanitarios para Desechos Sólidos No-Peligrosos. El objetivo de esta norma es establecer los criterios generales y específicos, parámetros y especificaciones técnicas ambientales para la ubicación, diseño, operación, mantenimiento y cierre de la disposición final de los desechos sólidos no peligrosos en Rellenos Sanitarios.



## **CAPITULO 4. DISEÑO METODOLÓGICO**

## **DISEÑO METODOLÓGICO**

En este capítulo se abordaron los métodos aplicados para el sistema de manejo, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos y sus sub productos.

### **4.1. Delimitación del alcance del estudio**

#### **4.1.1. Delimitación temporal**

Según el alcance temporal el estudio es de corte transversal, debido a que se refiere a un momento específico, o sea que se estudia un fenómeno en un momento dado; en el enfoque del estudio se analizan variables cuantitativas y cualitativas.

### **4.2. Determinación del tipo de estudio**

#### **4.2.1. Experimental**

La presente investigación es de éste tipo debido a que se utilizarán instrumentos a experimentar en laboratorios (prueba de humedad) y fuera de él en un entorno (método del cuarteo).

#### **4.2.2. Investigación descriptiva**

Es de tipo descriptivo ya que se interpretará el manejo de los residuos sólidos que se generan en el municipio de San Juan de Limay y describirán las características de éstos mediante los estudios a realizar.

### **4.3. Materiales y métodos**

Para realizar el análisis presentado en este documento se requiere de los siguientes medios:

1. **Bibliografía:** Se estudiará información y bibliografía referente a los procesos técnicos para disposición de residuos sólidos.
2. **Encuesta:** Se elaborará un diagnóstico para determinar el manejo y recolección de los residuos utilizando un instrumento encuesta (ver anexo de encuesta). Luego se procesará en software Microsoft Excel (gráfico).
3. **Visita in situ:** Se visitará el área de estudio para determinar la disposición actual de los residuos en el casco urbano del municipio.
4. **Método del cuarteo:** Se utilizará para caracterizar las propiedades de los residuos sólidos.
5. **Método de distribución de la población muestral:** (Estratificada y/o aleatorio)
6. **Metodología de recolección de la muestra diaria:** Para calcular la producción per-cápita.
7. **Metodología de caracterización fisicoquímica de los RSU y lixiviados**
8. **Calculo de población maestra**
9. **Estudios técnicos para manejar, tratar y disponer finalmente**
10. **Estudio financiero económico**

#### **4.4. Contenidos**

##### **4.4.1. Determinación del tamaño de la muestra**

La población a considerar para realizar el diagnóstico en el caso de este estudio se efectuó conforme a la ecuación de poblaciones finitas tomada de (Guardado Aguilar & Morales Gomez, 2017).

$$n = \frac{N}{1 + \left[ \frac{e^2(N-1)}{Z^2 * (p * q)} \right]}$$

Donde:

N: Universo

Z: Nivel de confianza (95%)

e: Margen de error máximo aceptado (3%-5%)

p/q: Probabilidad de ocurrencia

n: Tamaño de la muestra

##### **4.4.2. Metodología de caracterización método del cuarteo**

###### **4.4.2.1. Realización de muestreo para caracterización**

En el cronograma de caracterización se detalla la planificación de las actividades durante un período de ocho días consecutivos, en el lugar de estudio.

El cálculo de la población muestral para la caracterización se realizó con la siguiente formula de desviación estándar

$$n = \frac{N * t^2 * S^2}{N - 1 * d^2 * t^2 * S^2}$$

donde:

n: Población muestral

N: Tamaño de la población, en unidades de vivienda

d: Margen de error aceptado en la PPC

S: desviación estándar de la variable

t: Factor que para un 95% de certeza

- **Zonificar la ciudad:** En este inciso se determinaron las áreas de acuerdo a los barrios en que se encuentra dividido el municipio, haciendo uso de un plano cartográfico proporcionado por la alcaldía municipal (**ver anexo c, mapa de zonificación**).
  
- **Motivación y participación de la población en el análisis preliminar del proyecto:** Después de haber realizado la selección de viviendas para la caracterización de residuos sólidos, se procedió a visitar a cada poblador de nuestra muestra para darles a conocer: ¿Cuál es la finalidad del proyecto? ¿Quiénes son los responsables? ¿Cuál es el tiempo de duración? Y la forma en que deberán disponer sus residuos. Para esto se utilizaron 3 promotores por cada zona los que fueron debidamente capacitados para apoyar la selección de los hogares durante el primer día.
  
- **Formación de equipos por zona:** Según el mapa cartográfico el municipio consta de 9 barrios, los que se dividieron en 3 principales zonas. Cada equipo consta de 3 personas, un responsable y dos ayudantes los que se movilizaron

sobre las rutas de recolección, apoyadas con un vehículo de carga liviano (camioneta).

#### **4.4.3. Caracterización de los RSU para determinar sus parámetros fisicoquímicos**

##### **4.4.3.1. Producción per cápita por día (PPC)**

Para el cálculo de la ppc se tomaron las muestras diariamente, cubriendo ocho días sucesivos, puesto que hay una variación destacada dentro de ese plazo. Se descartó la muestra tomada el primer día de recojo, ya que la duración del almacenamiento para esa muestra no se conoce. Se midió el peso de la muestra usando una balanza y se realizaron los cálculos con la siguiente formula:

$$PPC = \left(\frac{1}{7}\right) \frac{Pt}{n}$$

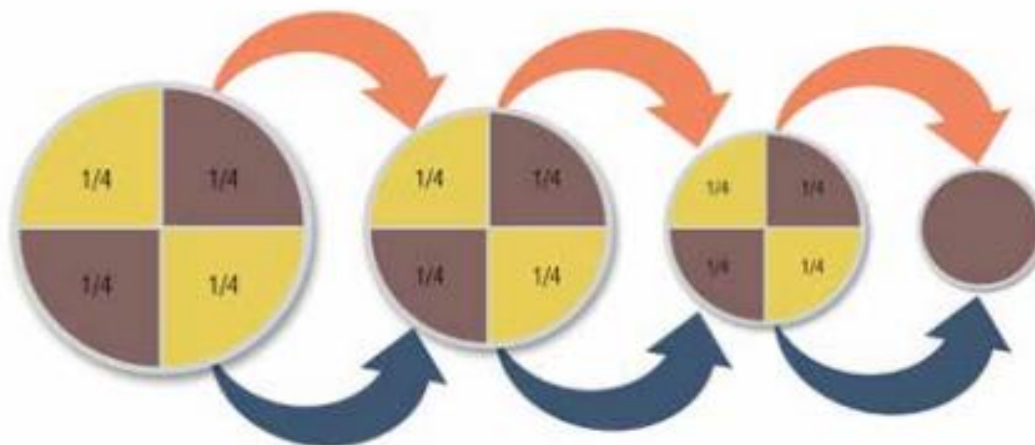
Dónde:

PPC: Producción per-cápita expresada en kg/hab/día

Pt: peso total de muestra en kg

n: Número total de habitantes

#### **Ilustración 4:** Procedimiento del Método del Cuarteo



Fuente: (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN, 2018)

#### **4.4.3.2. Método para determinar la densidad de los residuos**

En nuestra metodología se utilizó la densidad de residuos sin compactar, a continuación, se detalla este proceso:

1. Se prepara un recipiente de alrededor de 100 litros que servirá para el muestreo y una balanza de pie.
2. Se pesa el recipiente y se mide su volumen
3. Se pone los residuos en el recipiente sin hacer presión y se remece de manera que se llenen los espacios vacíos en el mismo.
4. Se pesa una vez lleno y por diferencia se obtiene el peso de los residuos
5. Se obtiene la densidad de los residuos al dividir su peso en kilogramos entre el volumen del recipiente en metros cúbicos.

La fórmula empleada para calcular la densidad de los residuos es la siguiente:

**PB lleno:** Peso Barril Lleno

**PB vacío:** Peso Barril Vacío

**V.B:** Volumen del Barril = 0.2 m<sup>3</sup> (constante).

$$\text{Densidad de la residuos } D (\text{Kg. /m}^3) = \frac{\text{Peso de los residuos en Kg.}}{\text{Volumen del tambor en } m^3}$$

#### 4.4.3.3. Prueba de composición física (Fisicoquímica)

Para la determinación de la composición física de los residuos se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se toma la muestra de alrededor de 1m<sup>3</sup> llevándola a un lugar pavimentado de preferencia en donde se vierte formando un montón.
2. Se rompen bolsas y se cortan cartones y maderas contenidas en los residuos hasta conseguir un tamaño de 15 cm. por 15 cm. o menos.
3. Se homogeniza la muestra mezclándola toda.
4. El montón se divide en cuatro partes y se escoge dos opuestas para formar otra muestra representativa más pequeña. La muestra menor se vuelve a mezclar y se divide en cuatro partes, luego se escoge dos opuestas y se forma otra muestra más pequeña. Esta operación se repite hasta obtener una muestra de 50 Kg. de residuos o menos.



5. Se separan los componentes del montón último y se clasifican de acuerdo a las siguientes características:

- Papel y cartón
- Trapos
- Madera y follaje
- Restos de alimentos
- Plástico, caucho y cuero
- Metales
- Vidrios
- Suelo y otros

6. Los componentes se van clasificando en cilindros pequeños que pueden ser de 50 litros.

7. Se debe pesar los cilindros antes de empezar la clasificación usando la balanza de pie.

8. Una vez terminada la clasificación se pesan los cilindros con los diferentes componentes y por diferencia se saca el peso de los componentes.

9. Se saca un porcentaje (%) de los componentes teniendo los datos del peso total y el peso de cada clase.

10. Se necesita realizar este análisis con la mayor rapidez posible para evitar demasiada evaporación de agua.

#### **4.4.3.4. Prueba de la humedad**

La prueba de humedad de los residuos sólidos y de suelo se calculó con el siguiente procedimiento:

## **Método para determinar contenido de humedad ASTM D 2216-71**

- ✓ Seleccionar un recipiente de referencia y masa conocida.
- ✓ Una vez seleccionada la muestra a ensayar, depositar la misma dentro del recipiente y determinar la masa del conjunto (recipiente + muestra).
- ✓ Se procede a dejar el recipiente con la muestra dentro del horno, a una temperatura constante de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ . Se debe dejar en el horno el tiempo suficiente para que se alcance una masa constante.
- ✓ Una vez se haya secado el material se retira del horno y se deja secar a temperatura constante para luego determinar su peso seco.

### **Cálculos**

-Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula empleada en el software Microsoft Excel (**Ver tabla 5**)

$$w(\%) = \frac{wh - ws}{ws - wr} * 100$$

W: Contenido de humedad, (%)

Wr: Masa del recipiente (g)

Wh: Masa del recipiente + muestra húmeda (g)

Ws: Masa del recipiente + muestra seca (g)

Ww: Masa del agua (g)

Wp: Masa de partículas de suelo (g)

### **4.4.3.5. Método para estimar el poder calorífico de los residuos**

Para facilitar el cálculo del poder calorífico de los residuos, en primer lugar, se adoptan los siguientes valores como el poder calorífico de cada componente seco:

1. Papel y cartón .....4.000 Kcal. /Kg.
2. Trapos ..... 4.000 Kcal. /Kg.
3. Madera y follaje ..... 4.000 Kcal. /Kg.
4. Restos de alimentos ..... 4.000 Kcal. /Kg.
5. Plástico, caucho y cuero .....9.000 Kcal. /Kg.
6. Metales ..... 0 Kcal. /Kg.
7. Vidrios ..... 0 Kcal. /Kg.
8. Suelo y otros ..... 0 Kcal. /Kg

#### **4.5. Estudios básicos en sitio seleccionado**

Los estudios básicos realizados de topografía y suelos proporcionaron la información necesaria para el diseño de obras del relleno y la planificación del uso del área disponible.

##### **4.5.1. Estudio de suelo**

El estudio de suelo está presente en las etapas de diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios.

Se verificaron las propiedades mecánicas que presenta el suelo en la zona seleccionada para el relleno sanitario, determinando humedad, granulometría, límite plástico y líquido y pruebas de compactación del suelo mediante ensayos realizados en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-RUACS).

El proceso se realizó con muestras extraídas de calicatas. Las muestras que se tomaron son alteradas ya que no se utilizaron medios mecánicos para recuperar los materiales como el método SPT u otros métodos de extracción de muestras.

#### **4.5.1.1. Método de ensayo para análisis granulométrico ASTM D 422-63**

##### **Procedimiento**

##### **a. Suelo retenido en el tamiz No. 10 (2 mm)**

- ✓ Se prepara la serie de tamices a utilizar, se toman los tamices desde el No. 10 hasta el tamiz de 3".
- ✓ El material que ha sido definido y preparado para realizar el ensayo se deposita desde la parte alta de la torre de tamices y se ajusta la tapa superior.
- ✓ Bien sea de manera mecánica o de manera manual se lleva a cabo el proceso de tamizado. Si el proceso de tamizado es manual, se recomienda realizar movimientos que produzcan la suficiente vibración y el desplazamiento de las partículas de un lugar a otro a través de las mallas de los tamices.
- ✓ Con ayuda de recipientes para medición y de una balanza de precisión 0,01 g se procede a pesar los materiales retenidos en cada malla.
- ✓ Esta operación se realiza desmontando primero los tamices de mayor diámetro, depositando su contenido en recipientes puestos sobre la balanza y registrando el peso del material.

##### **b. Suelo pasa tamiz No. 10 (2 mm)**

- ✓ En un recipiente cilíndrico de capacidad conocida, se agregan aproximadamente 250 ml de agua y se mezcla el suelo en el mismo.
- ✓ Una vez se produzca la mezcla y se esté seguro de que se presente humedecimiento superficial de las partículas, se deja reposar la mezcla por un periodo de 12 horas como mínimo.

- ✓ Terminado el periodo de saturación, se debe depositar la mezcla sobre el tamiz No. 200, realizando el proceso de lavado que se explicó en el procedimiento a.
- ✓ Una vez se haya logrado el lavado de la muestra, esta se deposita en un nuevo recipiente. Se presenta adherencia de las partículas a la malla del tamiz, por lo cual se debe hacer uso de agua destilada para asegurarse del traspaso de la totalidad de la muestra.
- ✓ La muestra se lleva al horno para secado a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5$ , hasta lograr una masa constante. Posteriormente se deja secar a temperatura ambiente.
- ✓ Una vez se encuentra el material a temperatura ambiente, se prepara la serie de tamices desde el No. 20 hasta el No. 200 y se dispone por la parte superior.
- ✓ Bien sea de manera mecánica o de manera manual se lleva a cabo el proceso de tamizado.
- ✓ Con ayuda de recipientes para medición y de una balanza de precisión 0,01 g se procede a pesar los materiales retenidos en cada malla.
- ✓ Esta operación se realiza desmontando primero los tamices de mayor diámetro, depositando su contenido en recipientes puestos sobre la balanza y registrando el peso del material.

## **Cálculos**

- Porcentaje Retenido:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{Mr}{Mt} * 100$$

Donde:

Mr: Masa retenida en el tamiz (g)

MT: Masa total (g)

- Porcentaje Retenido Acumulado:

*% Retenido Acomulado= Suma de porcentajes mayores o iguales*

- Porcentaje que Pasa:

*% que Pasa= 100-% retenido acomulado*

- Coeficiente de Uniformidad:

$$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde:

$D_{60}$  : Tamaños de las partículas del suelo en milímetros, que en la gráfica de la composición granulométrica corresponden al 60 %.

$D_{10}$ : Tamaños de las partículas del suelo en milímetros, que en la gráfica de la composición granulométrica corresponden al 10 %.

- Coeficiente de Curvatura:

$$CU = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10} * D_{60})}$$

Donde:

$D_{60}$  : Tamaños de las partículas del suelo en milímetros, que en la gráfica de la composición granulométrica corresponden al 60 %.

$D_{10}$ : Tamaños de las partículas del suelo en milímetros, que en la gráfica de la composición granulométrica corresponden al 10 %.

$D_{30}$ : Tamaños de las partículas del suelo en milímetros, que en la gráfica de la composición granulométrica corresponden al 30 %.

$$D_x = \left( \frac{D_2 - D_1}{\log \%2 - \log \%1} * \log \%x - \log \%1 \right) + D_1$$

Se maneja el siguiente criterio para valores de Cu y Cc:

**Ilustración 7:** Criterios para valores de coeficientes

Cu>4 y Cc entre 1 y 3      GW	
Cu >6 y Cc entre 1 y 3      SW	
Si no cumple GP o SP	
GW	GRAVA BIEN GRADADA
SW	ARENA BIEN GRADADA
GP	GRAVA MAL GRADADA
SP	ARENA MAL GRADADA

Fuente: (Botía Diaz, 2015)

- ✓ Se lleva a cabo el proceso de tamizado de la muestra obtenida en campo. Una vez este finaliza se tienen por separado la fracción gruesa y la fracción de ensayo, cuyos pesos permiten determinar sus porcentajes en la totalidad de la muestra extraída y verificar la condición inicial; que la muestra no presente un porcentaje retenido en el tamiz ¾" mayor al 30 %.
- ✓ Con la seguridad que la condición anterior se cumple se procede a seleccionar las muestras para los ensayos a realizar. Es necesario preparar por lo menos cuatro (4) submuestras, de manera tal que una vez se generen los puntos en la gráfica de compactación y su línea de tendencia, el pico de la curva sea efectivamente el que indique la mayor densidad seca. Estas muestras se colocarán en recipientes de aluminio lo suficientemente grandes para llevar a cabo el proceso de humedecimiento de la muestra.

- ✓ Se determina un valor cercano a la humedad óptima y los tres siguientes se distribuyen a criterio del laboratorista o la persona encargada. Dos por encima y uno por debajo o viceversa.
- ✓ Con el peso del molde previamente tomado se procede a realizar la compactación del material dentro del mismo. El material se debe disponer en tres capas y a cada una de ellas se debe proporcionar cincuenta y veinte y cinco golpes. Se debe asegurar que cada golpe alcance la altura máxima de caída y que la superficie de contacto con la cara del martillo sea total. También se debe cumplir que la última capa sobrepase el borde del molde en una altura no mayor a 6mm.
- ✓ Una vez se termine la compactación, la camisa superior es retirada y con ayuda de la espátula cuyas características cumplan las condiciones para el procedimiento, se lleva a cabo el enrasado. En el momento de enrasar es usual que guijarros dispuestos en la superficie sean desprendidos y dejen pequeños vacíos en la misma, para tal caso se recomienda llenar dichos vacíos con suelo sobrante del tamizado.
- ✓ Una vez se ha enrasado el molde, este se retira de su placa base y se registra su peso.
- ✓ El material es retirado del molde y para cada uno de los ensayos se toman muestras para determinar el contenido de humedad.

## **Cálculos**

-Área del molde

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

A: Área del molde ( $cm^2$ )



D: Diámetro del molde (cm)

-Volumen del molde

$$V = A * H$$

Donde:

V: Volumen del molde ( $cm^3$ )

H: Altura del molde (cm)

-Porcentaje de humedad

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_p} * 100$$

Donde:

W: Contenido de humedad, (%)

W<sub>w</sub>: Masa del agua (g)

W<sub>p</sub>: Masa de partículas de suelo (g)

-Densidad húmeda

$$\rho_{hum} = \frac{w_{hum}}{v}$$

Donde:

$\rho_{hum}$ : densidad húmeda

$w_{hum}$ : peso de la muestra húmeda (g)

$v$ : volumen del molde ( $cm^3$ )

-Densidad seca

$$\rho_s = \frac{\rho_{hum}}{(1 + w)/100}$$

Donde:

$\rho_s$ : Densidad seca

$w$ : Porcentaje de humedad (%)

#### **4.5.1.2. Método para ensayo de límites de consistencia ASTM D**

##### **procedimiento**

##### **1) Límite líquido**

- ✓ Una vez se haya preparado el material, se coloca una parte de este en la cazuela y se comprime y extiende sobre la misma, procurando no dejar burbujas de aire.
- ✓ Haciendo una pasada de arriba hacia abajo y manteniendo el ranurador normal a la superficie de la cazuela, se realiza la ranura lo más uniforme posible.
- ✓ Se acciona la cazuela a una razón de aprox. 2 golpes por segundo, contando el número de golpes necesario hasta que el talud de la ranura se cierre a lo largo de 13 mm. La ranura debe cerrarse por flujo del suelo, mas no por el desplazamiento del suelo sobre la cazuela.
- ✓ Se extrae una parte del suelo presente en la cazuela, asegurándose que sea de lado y lado de la ranura y se coloca en un recipiente de masa conocida y se tapa.
- ✓ El suelo sobrante se pasa a la zona de mezclado y con ayuda agua destilado se varía la humedad de este según se necesite aumentar o disminuir el número de golpes.
- ✓ Se lava y se limpia tanto el ranurador como la cazuela y se realizan uno o dos tanteos más.

- ✓ Es necesario que los datos de golpes estén comprendidos en los intervalos 20-35.
- ✓ Se registra el valor del peso de recipiente más la porción de suelo. Se somete a secado en el horno a una temperatura de  $\pm 110^{\circ}\text{C}$  y una vez se obtengan valores de masa constante se registra el peso de suelo seco más recipiente.

## **Cálculos**

-Porcentaje de humedad

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_p} * 100$$

Donde:

W: Contenido de humedad, (%)

Ww: Masa del agua (g)

Wp: Masa de partículas de suelo (g)

-Limite Líquido

Se determina el límite líquido como el contenido de humedad en porcentaje correspondiente al corte de la línea de tendencia en los 25 golpes.

## **2) Límite plástico**

### **Procedimiento**

- ✓ Se selecciona una porción de aproximadamente 1,5 – 2,0 g, de la muestra previamente preparada.

- ✓ Se hace rodar la porción de muestra entre la palma de la mano o los dedos y una placa de vidrio esmerilado aplicando una presión constante y no superior a la necesaria para formar rollos.
- ✓ Se debe formar un rollo de diámetro uniforme en la totalidad de la longitud, hasta que este alcance un diámetro de aproximadamente 3.2 mm.
- ✓ Si al alcanzar este diámetro el rollo no presenta agrietamiento y desmoronamiento, se tiene un material con humedad superior a su límite plástico. En tal caso se junta de nuevo todo el material formando una esfera, manipulándola con las manos, produciendo así su pérdida de humedad.
- ✓ Se repiten los pasos anteriores hasta lograr que una vez el material alcance el diámetro de 3.2 mm, se produzca un agrietamiento y desmoronamiento del mismo.
- ✓ Se colocan en un recipiente de masa conocida y se registra el peso de muestra más recipiente.

## **Cálculos**

-Contenido de humedad de cada una de las muestras tomadas

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_p} * 100$$

Donde:

W: Contenido de humedad, (%)

Ww: Masa del agua (g)

Wp: Masa de partículas de suelo (g)

-Límite plástico

$$LP = \frac{W1 + W2}{n}$$

Donde:

LP: Límite plástico

W: Humedad natural

n: Número de puntos de humedad tomados

-índice de plasticidad

IP=LL-LP

Donde:

IP: Índice de plasticidad

LL: Límite líquido

LP: Límite plástico

#### **4.5.1.3. Permeabilidad del suelo**

Coeficiente de permeabilidad

$$k = \frac{V \cdot L}{H \cdot A \cdot t}$$

$k$ : coeficiente de permeabilidad (cm/s).

$V$ : volumen promedio drenado

$L$ : distancia en el interior de la muestra de suelo

$H$ : pérdida de carga hidráulica total entre los puntos 1 y 2, bajo la cual se produce la infiltración

A: área o sección transversal de la muestra

T: tiempo necesario para que el volumen de agua atraviese la muestra.

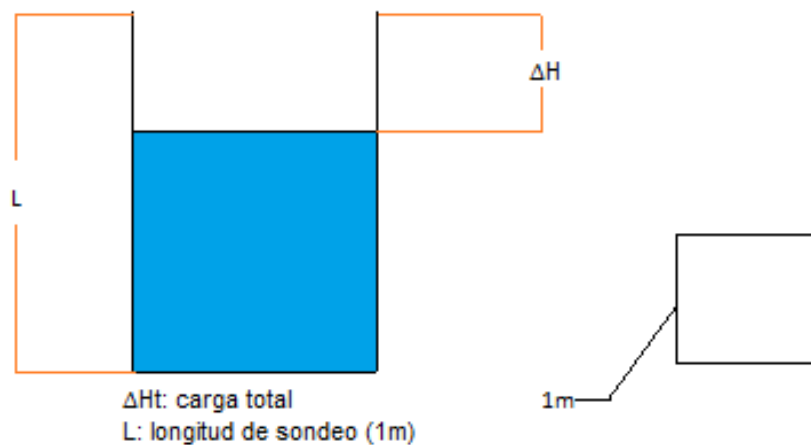
Materiales:

- ✓ Valde
- ✓ Agua
- ✓ Cinta métrica
- ✓ Pala
- ✓ Barra

Procedimiento:

- ✓ Marcar y hacer desmonte de un área mayor a  $1m^2$ .
- ✓ Una vez despejada el área, con ayuda de la barra proceder a realizar el sondeo, en este estudio se realizó una calicata de 1m de longitud x 60cm de profundidad.
- ✓ Retirar el material de excavación y medir hasta obtener la profundidad deseada.
- ✓ Llegando a la profundidad deseada, saturamos el suelo llenándolo de agua, si el suelo está seco dejar que el agua se drene, si el suelo está húmedo dejar pasar 2 horas y medir la distancia que descendió.
- ✓ Realizar el procedimiento hasta que la diferencia entre las distancias no sea muy variable.

**Ilustración 5:** simbología para calcular permeabilidad en suelo



Fuente propia

Cálculos:

1. Área de la calicata

$$A = b \cdot h$$

2. Altura promedio

$$H_{prom} = \frac{\sum H}{N}$$

Donde:

N: número de veces que se realizó el ensayo

3. Volumen promedio drenado

$$V = A \cdot H_{prom}$$

4. Coeficiente de permeabilidad

$$k = \frac{V \cdot L}{H \cdot A \cdot t}$$

Valores de coeficientes de permeabilidad

**Ilustración 6:** aceptación de coeficiente para relleno sanitario

**Coeficiente de permeabilidad k (cm/s)**  
**(Escala logarítmica)**

k (cm/s)	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	10	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>
Drenaje	Bueno						Malo		Prácticamente impermeable			
Relleno sanitario	Pésimo									Bueno		
Tipo de suelo	Grava gruesa (cascajo)	Arena limpia, arena mezclada con grava			Arena muy fina, suelos orgánicos e inorgánicos, mezcla de limo-arenoso y arcilla				Suelo impermeable modificado por efecto de la vegetación y la intemperización			
					Suelo impermeable; por ejemplo: arcilla homogénea debajo de la zona de intemperización							

Fuente: (Angelone & Tórrez, 2014)

#### 4.5.2. Levantamiento Topográfico

Los trabajos de topografía están enmarcados en las actividades de ingeniería básica y representan una actividad crítica para el buen diseño del relleno sanitario, uno de los objetivos principales es determinar el volumen de movimiento de tierra del sitio y determinar el método de construcción de las celdas.

Para el levantamiento topográfico se colocó un BM principal, en el cual se amarró todo el trabajo topográfico formando una poligonal irregular con 5 intersecciones, el levantamiento se realizó a través del método de las cuadrículas, las cuales se encontraban a 10 m de distancia entre cada vértice, con el objetivo de realizar un trazado de curvas de nivel a cada 8 m, para encontrar las elevaciones de cada punto.

Para el cálculo de rumbos, distancia entre punto y área de la poligonal se utilizó el programa AutoCAD 2014 con el complemento de Civil 3D 2014 (**ver anexo F, estudio topográfico**).

Los instrumentos utilizados en este levantamiento fueron:

- ✓ Una estación total **RUIDE 822D**
- ✓ Un estadal
- ✓ Un trípode
- ✓ Una cinta métrica de 50 metros.
- ✓ Trompos de metal.

Finalmente se calcularán los volúmenes de metano a ser producidos en el municipio, determinando la necesidad para implementar medidas de mitigación en el sistema de manejo de tratamiento del mismo como sub producto de los residuos sólidos recolectados.



## **4.6. Gestión integral de residuos solidos**

En el proceso de gestión de los residuos en el municipio de San Juan de Limay, se analizaron a profundidad todos los elementos desde su captación hasta la disposición final, identificando parámetros viables y proponiendo alternativas de gestión.

### **4.6.1. Generación y características de los RSU**

Según los datos obtenidos en la recolección y caracterización de los residuos en el municipio de San Juan de Limay, se describió su generación y características identificando las formas apropiadas y el instrumento de almacenamiento de los residuos.

### **4.6.2. Generación de los RSU**

La generación de los desechos sólidos está relacionada con el uso de la tierra y la zonificación. Según (Tchobanoglous, Theissen, & Eliassen, DESECHOS SÓLIDOS PRINCIPIOS DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN, 1982), se puede clasificar hasta un número indeterminado, encontrando útiles las siguientes categorías:

- 1) Residencial
- 2) Comercial
- 3) Municipal
- 4) Industrial
- 5) Áreas libres
- 6) Plantas de tratamiento
- 7) Agrícola

En la tabla de generación de residuos (**anexo B**) se presentan las instalaciones de generación de desechos, actividades o localizaciones típicas. También se identifican los tipos de desechos generados.

Normalmente se supone que el término municipal incluye tanto a los desechos sólidos residenciales, como los comerciales producidos en la comunidad. En base a esto, el tipo de generación en el municipio de San Juan de Limay es municipal Industrial.

#### **4.6.3. Servicio de recolección**

En las edificaciones separadas de poca altura, servicios de recolección comúnmente utilizados son:

- 1) acera
- 2) callejuela
- 3) lateral y restitución
- 4) lateral
- 5) acarreo desde el patio.

En el presente proyecto, la propuesta se realiza con el servicio de acera, donde el residente de la vivienda es responsable de colocar los recipientes a ser vaciados en la acera el día de la recolección y devolver los recipientes vacíos a su lugar de almacenamiento hasta la siguiente recolección. Donde las callejuelas son el esquema básico de una ciudad o un área dada, es común el uso de recipientes de almacenamiento en las callejuelas.

Donde se utilizan vehículos de recolección con altura de cargue baja, los desechos se transfieren directamente de los recipientes en que se almacenan o acarrean al vehículo de recolección por la cuadrilla de recolección. En algunos casos donde se utilizan camiones abiertos, miembros del grupo instalados sobre el camión levantan

el recipiente lleno al camión con la ayuda de los recolectores en el suelo, vacían el recipiente y los devuelven a los recolectores.

#### **4.6.4. Instrumentos de almacenamiento de los RSU**

Los factores que se deben considerar en el almacenamiento en el origen de desechos sólidos incluyen:

- 1) El tipo de recipiente a ser usado
- 2) La ubicación del recipiente
- 3) La salud pública y la estética
- 4) Los métodos de recolección a ser usados

Los tipos y las capacidades de los recipientes usados dependen, en gran parte, de las características de los desechos sólidos a ser recolectados, la frecuencia de la recolección, el espacio disponible para colocar los recipientes. En la tabla de características de recipiente **(anexo B)**, se resumen los tipos y capacidades de los recipientes comúnmente usados ahora para almacenamiento de desechos sólidos en el origen. En la tabla tipos de recipientes para almacenamiento **(anexo B)**, se reportan las aplicaciones y limitaciones típicas de los recipientes

#### **4.6.5. Almacenamiento en el origen o in situ**

En edificaciones de poca altura, debido a que los desechos sólidos son recogidos manualmente de la mayoría de los edificios residenciales separados, los recipientes deben ser suficientemente livianos para que sean manejados fácilmente por un recolector cuando estén llenos. El manejo de recipientes muy pesados ha resultado en lesiones para los recolectores; en general, el límite superior de peso debe estar entre 40 y 65 lb (18 y 30 Kg).

El recipiente de metal galvanizado o plástico de 30 galones (113.6 lts) ha demostrado ser el medio menos costoso para almacenamiento en edificaciones de poca altura.

La selección de los materiales del recipiente depende de las preferencias del propietario de la vivienda, los recipientes de metal galvanizado tienden a ser ruidosos cuando se vacían y con el tiempo, se pueden dañar de manera que no es posible taparlos con un sello adecuado, por lo tanto, para el servicio de recolección de residuos sólidos en el municipio de San Juan de Limay, se ha elegido un recipiente de plástico que son fuentes de desecho de muy poco volumen.

#### **4.7. Estudio de mercado**

##### **4.7.1. Demanda**

Se recopiló información para determinar las necesidades y requerimientos de la población en el municipio de San Juan de Limay para el manejo de residuos sólidos municipales; realizando un acercamiento y conversación directa con los habitantes para determinar el problema existente con el abastecimiento del servicio de la recolección de residuos mediante una encuesta (**Anexo A, gráficos encuesta**).

##### **4.7.2. Oferta**

De igual manera, mediante la herramienta encuesta, se analizaron los precios que deben establecerse por un buen servicio de recolección de residuos sólidos y el apoyo que la alcaldía municipal ha estado brindando con este servicio (**Anexo A, gráficos encuesta**).

##### **4.7.3. Comercialización**

Se investigo, si el manejo de residuos sólidos se está realizando en tiempo y forma por parte de las autoridades municipales.

Según los resultados de la encuesta realizada a la municipalidad se cuenta con un buen servicio de recolección por parte de las autoridades municipales, los cuales se realizan en tiempo y forma **(Anexo A, gráficos encuesta)**.

#### **4.7.4. Precios**

Según los resultados obtenidos en la encuesta, se analizaron los precios que la población está dispuesta a pagar para un buen servicio de recolección de residuos sólidos en el municipio **(Anexo A, gráficos encuesta)**.

#### **4.7.5. Estudio técnico**

Además de describir el tipo de servicio, la gestión se realiza analizando la tecnología a utilizar, el personal y equipamiento del personal involucrado en la recolección, igualmente se propone un mapa de ruta para barrido de calles y para el almacenamiento de recolección de residuos.

Se definió la metodología que será aplicada para la recolección de los residuos en el municipio, organizando el servicio y se describió la zona de ubicación del relleno sanitario y la manera en que serán tratados los residuos del municipio.

##### **4.7.5.1. Equipo y sistemas de recipiente estacionario camión con mecanismo de plataforma de volteo**

Los sistemas de recipiente estacionario se pueden usar en la recolección de todo tipo de desechos. Los sistemas varían de acuerdo al tipo y la cantidad de desechos a ser manejados, lo mismo que al número de puntos de producción. Hay dos tipos principales:

- 1) sistemas en los cuales se usan compactadores de autocargue
- 2) sistemas en los que se usan vehículos de cargue a mano.

El mecanismo a emplear en la recolección de RSU en el municipio de San Juan de Limay es de sistemas con vehículos cargados a mano. La mayor aplicación de los métodos manuales de transferencia y carga es en la recolección de desechos residenciales.

El cargue a mano puede competir eficazmente con el cargue mecánico, en áreas residenciales, debido a que la cantidad recogida en cada lugar es pequeña y el tiempo de cargue es corto. Además, se usan métodos manuales para la recolección residencial debido a que muchos puntos de recogida individual son inaccesibles al vehículo de recolección.

#### **4.7.5.2. Metodología de recolección de RSU**

La metodología a utilizar es de sistemas de recipiente estacionario (cargado a mano); donde los recipientes usados para el almacenamiento de los desechos permanecen en el punto de producción, en éste sistema el vehículo de recolección es cargado a mano, el número de recolectores varía de uno a tres, en la mayoría de los casos, dependiendo del tipo de servicio y el equipo de recolección (Tchobanoglous, Theissen, & Eliassen, DESECHOS SÓLIDOS PRINCIPIOS DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN, 1982).

Normalmente, se utiliza un sólo recolector para el servicio sobre la acera y la callejuela, y se utiliza una cuadrilla de varias personas para el servicio de acarreo desde el patio de atrás.

Mientras los tamaños antes mencionados de las cuadrillas son representativos de las prácticas corrientes, hay muchas excepciones. En muchas ciudades se utilizan

cuadrillas de varias personas para el servicio en la acera lo mismo que para el acarreo desde el patio de atrás; en éste sistema de recolección,

La cuadrilla estará conformada de un conductor y dos recolectores quienes serán los encargados de llevar los recipientes llenos al vehículo de recolección y devolver los recipientes vacíos.

Para una mayor seguridad, los recolectores deberán utilizar ropa visible, botas de seguridad con suela antideslizante, guantes resistentes para protegerse del material que tocan.

#### **4.7.5.3. Zona de ubicación**

La ubicación del relleno sanitario será en el lugar donde está el botadero a cielo abierto, la propiedad pertenece a la alcaldía municipal de San Juan de Limay, se encuentra a 4 km del casco urbano del municipio.

#### **4.7.5.4. Procesado de residuos sólidos**

Luego de la recolección, los residuos serán transportados al lugar donde estará localizado el relleno sanitario para ser tratados. Se procederá a realizar el confinamiento de los residuos en la menor área posible compactándolos para su posterior cobertura de capas de tierra en la trinchera.

Cada trinchera será impermeabilizada y revestida de fondo, para la implementación de sistema de manejo de lixiviados producidos por la descomposición de materia orgánica, humedad, precipitaciones o escorrentías.

Se implementará un sistema de chimenea para el control de biogás, el cual se genera a través de transformación de residuos orgánicos producidos de bacterias

en ausencia de oxígeno. Contando con un sistema de control de roedores que transmiten enfermedades

#### **4.7.5.5. Aspectos socioeconómicos.**

➤ **Población del municipio:** La población del municipio es de 5,251 habitantes en la zona urbana.

### **4.8. Ingeniería del proyecto**

Se detallará el procedimiento técnico, equipos y procesos que se emplearan para brindar el servicio de recolección de residuos sólidos en el municipio, tomando en cuenta los resultados de investigación en el estudio de mercado.

#### **4.8.1. Servicios de recolección**

Éste término, incluye no sólo la recogida de los desechos sólidos de las diferentes fuentes, sino también el acarreo de estos desechos al lugar donde se vacía el contenido de los vehículos que los recolectan. El descargue del vehículo recolector también es considerado como parte de la operación de recolección.

Mientras las actividades asociadas con el acarreo y el descargue son parecidas para casi todos los sistemas recolectores, la recogida o alzada de los desechos variará con las características de las instalaciones, actividades o lugares donde se producen los desechos.

##### **4.8.1.1. Diseño de recolección de los desechos sólidos**

- ✓ Es responsabilidad de la municipalidad realizar la actividad de recolección, retirar todos los desechos que entreguen los usuarios del servicio ordinario o regular, de acuerdo con lo estipulado con este tipo de servicio siempre que la



presentación se realice de conformidad con lo dispuesto en el capítulo 7 y 8 de la presente normativa NTON 05 014-02.

- ✓ Si durante el proceso de recolección y transporte de los desechos son esparcidos por la municipalidad, es obligación de los operarios de proceder inmediato a recolectarlas.
- ✓ Es obligación de todo dueño del lote del terreno baldío, mantenerlo cercado, libre de malezas y basuras instalando rótulos dentro del terreno alusivos a no botar basura. La municipalidad es responsable de hacer cumplir esta disposición.
- ✓ La recolección de los desechos sólidos no peligrosos podrá ser: recolección ordinaria o regular, recolección extraordinaria y recolección especial.
- ✓ La municipalidad planificará la actividad de recolección de los desechos tanto de servicio ordinario como de servicio extraordinario, definiendo rutas y horarios, así como la debida comunicación a toda la población.

El servicio de recolección ordinaria y extraordinaria se realizará de acuerdo a lo planificado en cuanto a la cantidad de desechos recolectados, frecuencia de recolección, espacio físico cubierto, equipos disponibles y otros componentes a considerar en la planificación.

- ✓ El servicio de recolección especial se realizará de acuerdo a las necesidades prevalecientes en el caso de eventualidades naturales u otras no planificadas.
- ✓ La recolección de los desechos dispuestos se realizará obedeciendo al método de la acera de la siguiente manera:

- a) Los recipientes deben colocarse al frente de las viviendas el día de la recolección, de acuerdo al horario establecido, antes que los vehículos recolectores pasen por estos sitios.
- b) El sistema debe ser implementado en el municipio de San Juan de Limay, con infraestructura bien definida donde el equipo pueda realizar esta actividad.
- c) En caso de que se usen recipientes retornables los recolectores deben disponerlos después de vaciarlos en los mismos sitios donde se recolectaron los desechos.
- d) La alcaldía debe establecer horarios y rutas (por zonas o barrios) de acuerdo a las características propias de cada barrio, información que se debe dar a los usuarios de este servicio.

#### **4.7.5.5. Recolección y transporte**

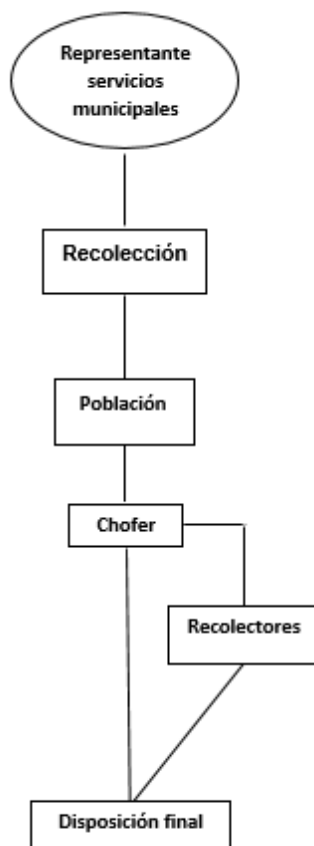
El servicio de recolección de desechos sólidos en el municipio de San Juan de Limay será brindado por la alcaldía municipal.

La frecuencia en los sectores es de dos veces por semana; los días de recolección son: martes y viernes.

#### **4.7.5.6. Aspectos organizacionales**

Estructura organizacional por el cual estará constituido el servicio de recolección de residuos sólidos en el municipio.

### **Ilustración 7:** Diagrama organizacional para la recolección de residuos sólidos



Fuente propia

#### **4.7.5.7. Aspectos legales**

Marco jurídico para el manejo de residuos sólidos en el municipio de San Juan de Limay.

#### **Ley 217: Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales**

- Artículo 129.

**Decreto 9-96: Reglamento de la Ley General sobre Medio Ambiente y los Recursos Naturales.**

- Artículo 95: MARENA, en coordinación con el MINSA y las Alcaldías, emitirá las normas ambientales para el tratamiento, disposición final y manejo ambiental de los residuos sólidos no peligrosos y la correspondiente normativa ambiental para el diseño, ubicación, operación y mantenimiento de botaderos y rellenos sanitarios de residuos sólidos no peligrosos.
- **Artículo 269:** En el inciso 8, establece la función de la Dirección General de Calidad Ambiental (DGCA) del MARENA: regular, controlar, normar y establecer procedimientos ambientales para el manejo de residuos sólidos.

**Ley 559: Ley Especial de Delitos contra el Medio Ambiente y los Recursos Naturales.** Establece como delitos contra el medio ambiente y los recursos naturales, las acciones u omisiones que violen o alteren las disposiciones relativas a la conservación, protección, manejo, defensa y mejoramiento del ambiente y los recursos naturales.

**Ley 40: Ley de Municipios y Ley 261: Reforma e Incorporación a la Ley de Municipios.** Dispone en el artículo 7 que el Gobierno Municipal tendrá, entre otras, la competencia de promover la salud e higiene de la población y que para tales fines deberá realizar la limpieza pública por medio de la recolección, tratamiento y disposición de los residuos sólidos; además deberá promover y participar en campañas de higiene y salud preventiva en coordinación con los organismos correspondientes.

#### **4.7.6. Estudio financiero**

Para el estudio financiero, tomando en cuenta los egresos de los recursos técnicos y humanos calculados en el presupuesto necesarios para poner en marcha el proyecto, se realizó el cálculo de una tarifa por vivienda para la recuperación de la inversión inicial especificados en la **(sección 5.9.2)**

#### **4.7.6.1. Inversión Inicial**

Se definirán todos los activos fijos o tangibles y diferidos o intangibles necesarios para iniciar las operaciones del proyecto, con excepción del capital de trabajo.

- Estudios preliminares
- Bienes inmuebles (Terreno donde se va a construir)

#### **4.8. Disposición final**

El proceso de diseño para la infraestructura del relleno sanitario del municipio, se realizó determinando espacios y distribución de los residuos sólidos recolectados.

##### **4.8.1. Proceso de diseño de disposición final de los residuos sólidos generados en el municipio de San Juan de Limay.**

###### **4.8.1.1. Período de diseño**

El período de diseño considerado en este proyecto es de 20 años. Este dato se tomó según la matriz de evaluación de emplazamiento de sitio de disposición final que ha elaborado MARENA (**ver cuadro No 9**), donde la cantidad mínima de años a ser considerado para vida útil del relleno sanitario es de 10 años (edad cronológica), por lo tanto, cualquier valor superior a 10 años es recomendable.

###### **4.8.1.2. Volumen de tierra de cobertura**

Este volumen se estima entre el 20 % del volumen de residuos sólidos estable (Gutierrez Zarruk & Pereira Cardenal, 2004).

#### **4.8.1.3. Selección del sitio**

La selección del sitio para el relleno sanitario es realizada utilizando como base la técnica de evaluación de impacto ambiental recomendada por el Centro de Ecología Humana y Salud (ECO) Centro Regional de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS).

#### **4.8.1.4. Análisis confirmativo del proceso de evaluación del sitio**

Una vez resuelta la determinación y resuelto la insatisfacción de áreas y volúmenes requeridos se procedió a realizar la evaluación del referido sitio. Para la evaluación del sitio propuesto a ser utilizado como relleno sanitario se aplicó los criterios y parámetros establecidos por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), y el Centro de Ecología y Salud (ECO), Centros Regionales de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS).

En el **cuadro N°9** se asigna un puntaje de acuerdo con el cumplimiento de éste con relación a las consideraciones sanitarias, urbanísticas y económicas antes referidas. Como criterio de asignación de puntaje de cumplimiento se especifica lo siguiente:

Excelente (4), Muy Bueno (3), Bueno (2), Regular (1), Malo (0).

### **4.8.2. Diseño y construcción del relleno sanitario**

#### **4.8.2.1. Método del RSM a utilizar**

Estudiando las condiciones topográficas del terreno, las características del suelo natural y la profundidad del nivel freático, se definió el método constructivo mixto a utilizar: El método de trinchera y área, tomando en cuenta del nivel de compacidad relativa de la mayoría de los estratos que va de medio densa a muy poco denso.

En lo que refiere a la economía de operación se contempló que no subirán los costos

de la misma puesto que no se tendrían que acarrear material de cobertura desde otras áreas adyacentes, ya que por la misma facilidad de excavaciones en el terreno se podrá contar con suficiente material apropiado, para realizar dicha operación.

#### **4.8.2.2. Preparación del terreno**

La preparación del terreno solamente consiste en:

1. la limpieza y desmonte del terreno
2. movimiento de tierra, selección y almacenamiento de suelos para la construcción y posterior operación del relleno sanitario.

#### **4.8.3 Diseño del relleno**

##### **4.8.3.1. Dimensionamiento de Trincheras**

Los criterios que se han utilizados para el cálculo y el dimensionamiento de las trincheras fueron los siguientes:

1. Se define que una trinchera o zanja No. 1, servirá para enterrar las basuras recolectadas durante un período de 1- 4 años.
2. Se define que las zanjas serán construidas con maquinaria pesada que generalmente tienen un rendimiento de 20 m<sup>3</sup> por hora de corte.
3. La población equivalente a servir, se toma como base la del año 2019 de 5,251 hab.
4. La producción per cápita media a utilizar es la estimada entre el año 2019 hasta 2038 de 0.410 Kg/hab/día.
5. La cobertura del servicio de recolección, se estima en un 95%.

6. El material de cobertura es de 20 % del volumen de basura a enterrar.

7. La densidad de basura compactada en el relleno es de 450 Kg/m<sup>3</sup>.

8. La densidad de basura estabilizada es de 600 Kg/m<sup>3</sup>.

De esta forma se encontraron 1,680 m<sup>3</sup> para el año 1 que servirán para la disposición final de los residuos sólidos del año 1 que es 2019. Sin embargo, tomando en cuenta el año medio correspondiente al periodo de vida útil del relleno sanitario 20 años tenemos un volumen de 2,145 m<sup>3</sup>, valores que se tomaran como base para calcular el tiempo de máquina que se utilizara para la construcción, específicamente excavar cada trinchera del relleno sanitario.

#### **4.8.4. Proceso de cálculo del relleno sanitario**

##### **4.8.4.1. Cálculo del área requerida**

Con el fin de valorar si el sitio disponible tenía suficiente área para enterrar los residuos sólidos para un período de 20 años (vida útil solicitada) se hizo el cálculo y se observó que el sitio dispone de área suficiente para el relleno sanitario (**ver tabla N° 10**).

El área requerida está en función de:

- ✓ Cantidad de sólidos a disponer.
- ✓ Cantidad de material de cobertura.
- ✓ Densidad de compactación de los sólidos.
- ✓ Capacidad volumétrica del sitio.
- ✓ Área adicional para construcciones de obras complementarias.

La **tabla N° 10** se reflejan los datos de cálculos efectuados para determinar las áreas



y volúmenes requeridas por año para el enterramiento de los residuos sólidos de San Juan de Limay, reflejándose los resultados de los cálculos para la disposición de los residuos, analizando una cobertura de recolección de 95% desde el año 1 hasta el año 20.

#### **4.8.4.2. Tamaño de las celdas**

Las dimensiones de las celdas típicas del relleno son de 0.80 m de altura, su ancho y avance diario fueron calculados a través del volumen diario de residuos sólidos y material depositado (Gutierrez Zarruk & Pereira Cardenal, 2004).

#### **4.8.4.3. Drenaje pluvial**

Con el fin de evitar la introducción de aguas pluviales al área de emplazamiento de las trincheras se ha dispuesto de un drenaje pluvial perimetral para desviar la escorrentía hacia drenajes naturales, de igual manera cada trinchera será provista de un drenaje perimetral para evitar la introducción de agua superficial a cada trinchera.

Para el diseño de las obras de drenaje pluvial se utilizaron los criterios y parámetros típicos para el diseño de canales abiertos. El caudal de diseño se estimó aplicando el método racional siendo el área menor que 75 hectáreas.

#### **4.8.4.4. Drenaje perimetral externo**

El área disponible de terreno donde se practicará la disposición de residuos sólidos mediante el método de relleno sanitario en el municipio de San Juan de Limay, se localiza en los mismos terrenos, por lo mismo se aprovechará los caminos ya existentes.

Con el fin de drenar las aguas de escorrentías de las áreas tributarias del relleno sanitario por un lado y por otra parte evitar la entrada de escorrentías superficiales provenientes de áreas adyacentes a las del relleno, se hizo uso del método racional  $Q = CIA$  para la determinación de los diversos caudales de diseño y modelos matemáticos características a los canales abiertos (perimetrales a cada fase de relleno sanitarios y colectores de las aguas de escorrentía acumuladas en los canales perimetrales a los rellenos y en los externo al relleno) para los cálculos de las diversas dimensiones de las secciones adecuadas.

Para la fluidez de cálculo se sistematizaron los modelos matemáticos en una hoja Excel (**Ver tabla N°10**).

los datos de cálculo para caudales en el canal perimetral externo se obtuvieron de la curva IDF proporcionada por INETER.

Se tomó un área tributaria partiendo de un parte agua situado en el costado norte del lugar donde estará ubicado el relleno sanitario para drenaje externo y en el drenaje interno se utilizaron las áreas calculadas en el cuadro de áreas y volúmenes, el coeficiente de escorrentía fue calculado según parámetros establecidos por (Gutierrez Zarruk & Pereira Cardenal, 2004), especificados en la tabla N° 15, utilizando un periodo de retorno de 50 años según lo estipula el punto 4.2.23 de la Norma Técnica N° 05 013-01

#### **4.8.4.5. Vías de acceso internas**

El camino será revestido con material selecto para facilitar el acceso del camión con desechos hasta las trincheras, se ha definido una sola entrada y una calle al centro del lote sobre la recolección de lixiviados, para facilitar la recolección de residuos en cada trinchera.

#### **4.8.4.6. Drenaje y tratamiento del líquido percolado**

El volumen del líquido percolado se estima en 15% del volumen de la precipitación pluvial en el área del relleno. Sin embargo, para mayor precisión se utilizarán, en este caso, otras metodologías para la determinación del caudal de diseño del sistema de tratamiento y de control de los lixiviados del RSM de este municipio. En el referido caso se utilizará los métodos KPA y PERC.

✓ El método KPA, método basado en el grado de compactación de los residuos sólidos aplicado durante la operación del relleno sanitario. Este método es de aproximación y se utiliza realmente cuando no se cuenta con registro completo de datos meteorológicos.

✓ El método PERC en cambio, se utiliza para añadir precisión a los resultados de balance hídricos, por ende, al caudal de diseño del sistema de tratamiento de los lixiviados de relleno sanitario. Se utiliza realmente cuando se cuenta con registro completo de datos meteorológicos.

En este estudio se utilizarán los datos de caudales que resultan del método PERC.

#### **4.8.4.7. Calidad de los lixiviados**

Para poder comprobar la calidad de los lixiviados de los residuos sólidos del municipio de San Juan de Limay y para establecer algunas relaciones de fundamental importancia para el diseño del sistema, se acostumbra procesar y analizar informaciones de muestreo y caracterización físico - químico obtenidos de forma directa o bien de otros estudios disponibles en el país o a nivel regional. En el caso San Juan de Limay se ha realizado muestreo de lixiviados de DS frescos de forma directa, analizándolos en el laboratorio PIENSA-UNI. Los métodos utilizados para realizar los muestreos y los análisis cumplen con las normas de la EPA en sus procedimientos. Los parámetros establecidos más importantes, se presentan en la

## **tabla N° 16, sección 5.5.5**

### **4.8.4.8. Estimación de volumen de lixiviados generado por el relleno sanitario**

En este caso se utilizaron dos métodos con el fin de poder comparar los resultados y comprobar la solidez de los mismos:

1) El método simplificado considerado para estimación: Este método se basa en una relación empírica que establece que el percolado es una función directa de la compactación de la basura en el suelo.

Para el caso particular en cuestión lixiviados de relleno sanitario, el procedimiento que se siguió fue el de la correlación entre el área total calculada para la disposición final de los residuos sólidos durante la vida útil prefijada, la precipitación normal anual de la cuenca en dónde se encuentra el relleno sanitario para primero estimar la cantidad aproximada de este lixiviado que se percola en la base del relleno sanitario en un tiempo determinado. Ambos parámetros, áreas y precipitación son afectadas por un factor K que está en dependencia del grado de compactación aplicada tanto a los residuos sólidos como a los materiales de cobertura intermedias y finales:

$$Q = p \times A \times K$$

Donde:

**P:** Precipitación media anual.

**A:** Área del terreno

**K:** Coeficiente que depende del grado de compactación

**Q:** Caudal de lixiviados producidos

2) El método PERC: Balance hídrico que también permite obtener informaciones estimados con criterios y consideraciones para determinar el caudal de diseño como:

✓ Registro de datos meteorológicos, normales mensuales y normales anuales, correspondientes a los parámetros precipitación y temperatura, por la cercanía con San Juan de Limay se trabajaron datos de la estación meteorológicos situada en Condega (**ver anexo B**).

✓ Se procesaron dichos datos, obteniendo datos promedios mensuales y anuales proviniendo de los normales mensuales y anuales.

Con estas informaciones se realizó un balance hídrico, mediante una matriz que consiste en una hoja de cálculo automatizada (**ver tabla N°17**), con la finalidad de encontrar finalmente el tirante que anualmente se obtendrá en concepto de agua en exceso (lixiviados) expresado como tirante de agua percolado (PERC) cuyo volumen diario estará disponible para ser extraído el relleno sanitario para su posterior tratamiento.

Una vez determinado el valor del tirante se procedió en determinar el caudal de lixiviados. La ilustración de los cálculos de tirante o película de agua que será percolada en concepto de lixiviados para encontrar el volumen de lixiviados anual que fue a su vez dividido entre el número de días lluviosos de la cuenca en donde se encuentra localizado el relleno sanitario. El volumen encontrado y expresado en m<sup>3</sup>/día se utilizó como caudal de diseño de los Sistemas de Tratamiento de Lixiviados STLIX (**ver tabla N° 17**).

#### **4.8.4.9. Cálculos para la red de recolección de lixiviados**

#### **4.8.5. Conceptualización de la red de recolección**

La revisión (diseño) de diámetros, pendientes, elevaciones y distribución de caudales se realizó con el programa HCANALES presentados a continuación.

La red de recolección se construye con tubería “PVC” ya que las tuberías de concreto se destruyen rápidamente por la acción corrosiva de los lixiviados. Como parte del sistema se construyen cajas de registros o de limpieza según el caso. La red de recolección funciona por gravedad y el diámetro mínimo de la tubería es de 4” PVC (Gutierrez Zarruk & Pereira Cardenal, 2004). Los caudales se acumulan en el nodo para ser tratados posteriormente.

#### **4.8.5.1. Diseño de la red**

Se diseñó el esquema de la red asignando el área tributaria correspondiente a cada colector y determinando el caudal proporcional.

Para calcular la red de recolección de lixiviados se utiliza el área tributaria calculada a partir del área efectiva de infiltración del relleno sanitario. El área efectiva de infiltración, para el caso de San Juan de Limay comprende el área efectiva correspondiente al relleno sanitario en trinchera, que es la suma de las áreas de las trincheras correspondientes a cada año de los 20 años de la vida útil del relleno sanitario.

Para determinar el caudal de diseño en cada tubo de la red de recolección de lixiviados se toma como las áreas tributarias básicas las secciones de las trincheras en planta. Se procesa auxiliándose de una hoja de cálculo en Microsoft Excel (**ver tala Nº 19**) considerando los parámetros que vienen descritos a continuación:

**1)** Factor de Infiltración de agua en los tramos, en dependencia de tipo de material de canalización utilizado. Contribuye como caudal adicional, además del Q de los lixiviados.

**2)** La elevación del terreno natural (**ver estudio topográfico lámina Nº 2**)

Los resultados de estos cálculos se presentan en las tablas que van de la Nº 19 hasta la Nº 21.

#### **4.8.6. Drenaje y producción de gases**

Para la definición de las formas de las chimeneas para el drenaje de gases se utilizaron criterios de los diseñadores y el espacio entre las mismas, se determinó como longitud base 40 m para fijar la longitud real que servirá para determinar la cantidad de chimeneas de evacuación de los biogases generados. Para el relleno de San Juan de Limay se ha definido instalar dos chimeneas en cada trinchera (Gutierrez Zarruk & Pereira Cardenal, 2004).

##### **4.8.6.1. Producción de gases**

En el relleno sanitario debido a la descomposición natural o putrefacción de los desechos sólidos, no solo se producen líquidos, sino también gases y otros compuestos. La descomposición natural de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio ocurre en dos etapas: aerobia y anaerobia.

La aerobia es la etapa en que el oxígeno está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa enterrados, siendo rápidamente consumido.

La anaerobia, en cambio es la que predomina en el relleno sanitario y produce cantidades apreciables de metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), así como las trazas de gases de olor repugnante como amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).

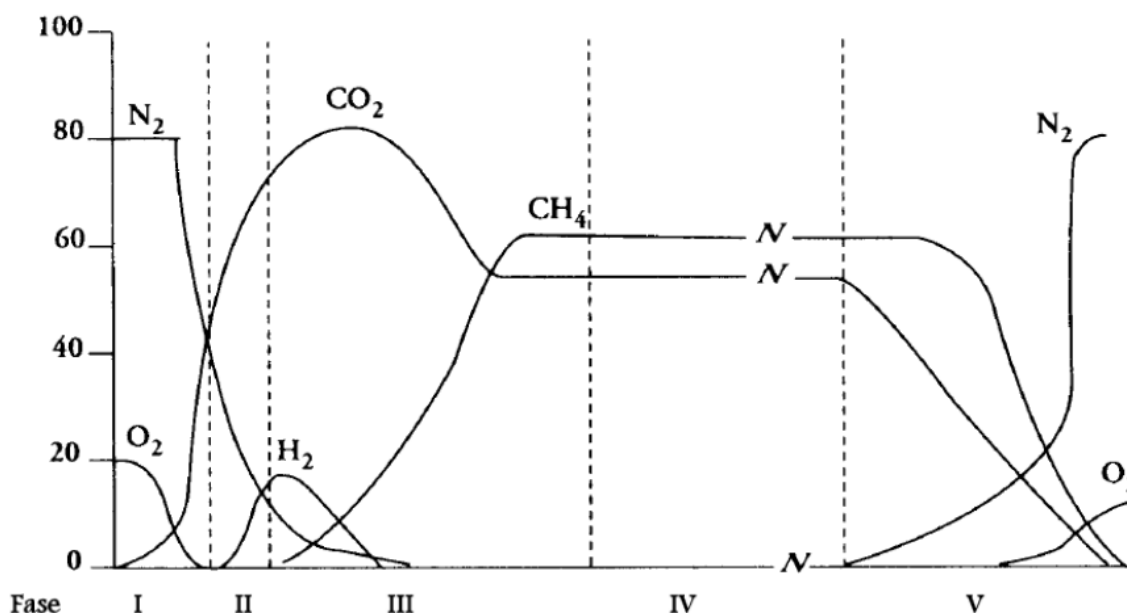
El gas metano reviste el mayor interés porque a pesar de ser inodoro, es inflamable y explosivo si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15% en volumen; los gases tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno, aprovechan cualquier fisura del terreno o permeabilidad de la cubierta para salir, pudiendo originar altas concentraciones de metano con el peligro de explosión en las áreas vecinas. Por tanto, es necesario llevar a cabo un adecuado control de la generación y migración de estos gases.

El proceso de descomposición de residuos orgánicos resulta complejo y ocurre en diversas etapas de acuerdo con las condiciones del medio, determinadas por la temperatura, la presencia de oxígeno, las características del residuo y la edad del relleno sanitario, principalmente. Así, es posible identificar cinco fases durante el proceso:

- Fase I: Aeróbica, que inicia inmediatamente después de la disposición de los residuos sólidos en el relleno sanitario y en la que las sustancias fácilmente biodegradables se descomponen por la presencia de oxígeno y se propicia la formación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), agua, materia parcialmente descompuesta registrando temperaturas entre 35 y 40 °C.
- Fase II: Aeróbica con el desarrollo de condiciones anaeróbicas en la que ocurre el proceso de fermentación, actúan los organismos facultativos con la producción de ácidos orgánicos y la reduce significativamente el pH, condiciones propicias para la liberación de metales en el agua y la generación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).
- Fase III: Anaeróbica, resultado de la acción de organismos formadores de metano ( $\text{CH}_4$ ), que, en las condiciones adecuadas, actúan lenta y eficientemente en la producción de este gas mientras reducen la generación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).
- Fase IV: Metanogénica estable, que registra la más alta producción de metano oscilando entre 40-60% de metano ( $\text{CH}_4$ ) en volumen.
- Fase V: Estabilización, la producción de metano ( $\text{CH}_4$ ) comienza a disminuir y la presencia de aire atmosférico introduce condiciones aeróbicas en el sistema.



**Ilustración 8:** Composición óptima de biogás en una celda de relleno sanitario.



Fuente: (Camargo & Velez, 2009)

Es preciso aclarar que los rellenos sanitarios poseen dos fases en su vida útil: etapa de funcionamiento, cuando los residuos sólidos urbanos son depositados y degradados en estos sitios, y etapa de clausura, cuando se alcanza la máxima capacidad de almacenamiento de residuos sólidos. En su etapa de operación los rellenos sanitarios emiten mayor cantidad de metano con respecto a los rellenos clausurados, esto se debe a que la degradación de la materia orgánica ocurre en su mayoría en los primeros años.

El control se puede lograr, construyendo un sistema de drenaje vertical en piedra, colocado en diferentes puntos del relleno sanitario para que estos sean evacuados a la atmósfera. Como el gas metano es combustible, se puede quemar simplemente encendiendo fuego en la salida del drenaje una vez concluido el relleno sanitario.

El aprovechamiento del biogás se convierte en una opción real a partir de tres alternativas que corresponden a su uso directo como combustible de poder calorífico medio, su utilización en la generación de electricidad, y finalmente, su procesamiento para obtener un gas de calidad equivalente al gas natural, sin

embargo, es importante aclarar que en el caso que nos corresponde no nos hemos propuesto como objetivo la obtención de metano, debido a diferentes razones:

- Cuando se trata de centros urbanos con población menor a 40,000 habitantes como es el caso de San Juan de Limay, el caudal suele ser muy pequeño por tanto no se espera una producción considerable de metano que pudiese permitir su uso sostenido.
- La causa principal del malestar en la población es la producción de lixiviados.

Aunque si se realizaron cálculos para conocer el comportamiento proporcional anual de los gases principales  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $NH_3$  producidos en base a la porción orgánica de residuos sólidos generado en San Juan de Limay (**ver anexo B**).

#### **4.8.7. Sistema de tratamiento de lixiviados**

##### **4.8.7.1. Adecuación Económico-Constructiva de la Fosa Séptica**

Las "fosas sépticas" pueden ser construidas de uno o dos compartimientos según la calidad de efluente deseada y de los recursos disponibles. Una fosa de un solo compartimiento dará un servicio aceptable. Sin embargo, es bueno mencionar que todos los resultados de las investigaciones realizadas indican, que una "fosa" con dos compartimientos o cámaras, proporciona una mejor eliminación de los sólidos en suspensión; por lo cual se ha optado por esta última opción en este sistema.

La capacidad es una de las consideraciones más importantes en el diseño de un tanque séptico. Todos los estudios indican que un diseño bastante holgado, en lo que a capacidad se refiere, no solo es importante desde el punto de vista de funcionamiento, sino que también resulta económico; esto debido al hecho de que un diseño suficientemente liberal, permite trabajar con mayor seguridad y evita a su vez el costo adicional de limpieza regular que habría que efectuar en una fosa demasiado pequeña, sin descontar la posibilidad de tener que construir una fosa

adicional si la capacidad de la ya existente se ve rebasada.

#### **4.8.7.2. Criterios de diseño**

**Fosa Séptica:** Los principales factores que se han considerado al fijar la capacidad de la "fosa séptica" son los siguientes:

- a) El caudal medio diario de aguas residuales, "q".
- b) El tiempo de retención del agua residual dentro de la "fosa", que generalmente se recomienda sea de 24 horas. Sin embargo, existen algunos criterios que permiten, en algunos casos, reducir el período de retención.
- c) El espacio necesario para la acumulación de lodos.
- d) El espacio necesario para la acumulación de natas.

#### **4.8.7.2. Procedimientos seguidos para el diseño del sistema**

##### **4.8.7.2.1. Cálculo de la fosa séptica**

Para el caso particular en cuestiones lixiviadas de Relleno Sanitario, el procedimiento que se siguió fue:

- 1) adoptar el valor del caudal de diseño, para luego proyectarlo en el tiempo consiguiendo así un caudal acumulado y ponderado para el diseño del sistema de tratamiento con capacidad de dar cobertura a 20 años.
- 2) Asumir como datos de calidad de lixiviados calculados de los cuales, uno de los elementos más importantes es el referido a los sólidos (sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos suspendidos volátiles), pues esta información es muy importante para estimar el volumen de la "fosa", particularmente el volumen destinado para el almacenamiento de lodos.

## Filtro Anaerobio

Como ya se explicó anteriormente, en el proceso de digestión anaerobia se produce un gas (metano), el cual es altamente volátil, por lo cual puede ser usado eventualmente como fuente de energía (ya sea para cocinar alimentos, o mover determinado tipo de máquinas). En Nicaragua existen múltiples experiencias en el tratamiento de desechos orgánicos por la vía anaerobia con el fin de obtener metano y de esta manera contribuir a resolver los problemas energéticos del país. Sin embargo, es importante aclarar, que en el caso particular que nos corresponde, no nos hemos propuesto como objetivo la obtención de metano; esto debido a diferentes razones:

1. Las áreas requeridas del relleno sanitario equivalentes a las áreas tributarias de una subcuenca mediante la cual se infiltra un gran porcentaje de agua precipitada transformándose en agua percolada o lixiviados cargados de contaminantes químicos y orgánicos, contabilizable mediante un balance hídrico en forma de caudal utilizado para el diseño del sistema de tratamiento de dichos lixiviados. Cuando se trata de centros urbanos de poblaciones menores a 40,000 habitantes, tal como el caso de San Juan de Limay, este caudal suele ser muy pequeño sumando el carácter discontinuo del flujo, por lo tanto, del proceso de tratamiento, aunque eminentemente anaerobio, no se espera una producción considerable de metano que pudiese permitir su uso sostenido.

2. Que la causa principal de malestar en la comunidad, así como de contaminación del cuerpo receptor, son los lixiviados del relleno sanitario

3. Que se pretende potenciar el sistema anaerobio como instrumento para mejorar la calidad de los efluentes, creando las condiciones necesarias para este fin y no para cualquier otro que tenga como objetivo el aprovechamiento energético.

#### **4.8.7.2.2. Sistemas de disposición de los efluentes líquidos finales de los lixivias del relleno sanitario de San Juan de Limay**

Para lograr un adecuado reciclaje de los efluentes de los lixiviados previamente tratadas y aprovechar los contenidos nutricionales ya en forma química metabolizables por las plantas, se sugiere el diseño de un sistema de filtración consistiendo en un campo de eliminación horizontal. De tal manera que se puede aprovechar realizar en la proximidad, aguas arriba del cerco perimetral vivo del relleno sanitario propuesto para mitigar los gases y partículas que se desprenderán de las operaciones y procesos que se desarrollaran en los distintos sistemas de tratamientos del relleno sanitario.

#### **4.8.8. Propuesta de ruta para barrido y recolección.**

Es importante establecer un eficiente diseño de recolección de los desechos sólidos, para contribuir a la limpieza del municipio y sobre todo para disminuir los problemas ambientales y de salud de la población.

En general, en el trazado de las rutas de recolección no hay reglas fijas que se puedan aplicar a todas las situaciones, sin embargo se pueden definir algunos criterios generales que deben ser tomados en consideración en este proceso (Sakurai, 1980), dichos criterios son:

- ✓ Identificar las políticas y regulaciones relativas a detalle como los puntos de recolección y su frecuencia.
- ✓ Conocer las características de los vehículos recolectores de basura como son el tipo y tamaño del camión.
- ✓ Deben evitar duplicaciones, repeticiones y movimientos innecesarios.

- ✓ En áreas con topografía accidentada las rutas deben comenzar en el punto más alto y luego comenzar a bajar, deben recorrerse cuesta abajo, realizando la recolección de ambos lados de las vías, con el fin de aumentar la seguridad del trabajo, acelerar la recolección, minimizar el desgaste de equipos y reducir el consumo de aceites y combustible.
- ✓ Las rutas deben ser trazadas de tal manera que el ultimo recipiente o contenedor de la ruta esté ubicado lo más cerca posible del sitio de disposición final.
- ✓ Proporcionar cobertura a toda la población en forma sanitaria y con una frecuencia adecuada.
- ✓ De ser posible trazar las rutas de tal forma que estas inicien y terminen cerca de las arterias principales.
- ✓ Los desechos generados en zonas con congestionamientos de tráfico deben ser recolectados tan temprano como sea posible.
- ✓ Los puntos de producción donde se generen cantidades muy grandes de desechos deben ser cubierto durante la primera parte del día.
- ✓ Que se realice en el menor tiempo posible.

#### **4.8.8.1. Verificación de rutas**

Se recomienda seguir el siguiente procedimiento para la verificación de las rutas esquematizadas:

- ✓ Constatar la viabilidad (sentidos de circulación).
- ✓ Comprobar la transitabilidad de las calles en cualquier época del año.
- ✓ Notificar si dentro de la ruta propuesta existen manzanas deshabilitadas y consecuentemente no necesitan servicio de limpieza.

Tomar nota de los problemas de circulación, ocasionados por calles angostas, obstrucción por vehículos estacionados, calles con fuertes pendientes, etc

#### **4.8.9. Construcciones accesorias**

Para la operación adecuada del relleno, la preservación de la ecología del sitio y fines similares, se realizará la construcción de obras básicas, tales como:

- Cercado perimetral del terreno con cuatro hileras de alambre de púas, para evitar el acceso de personas y animales a las áreas de operación del relleno.
- Portón principal, caseta de control.
- Rótulo de identificación del sitio de tamaño visible y hecho con material resistente a la intemperie (madera, zinc y pintura anticorrosiva).
- Una letrina de fosa común para uso de los operadores del relleno.
- Cerco vivo adicional en las áreas que lo requieren, de árboles alrededor de todo el perímetro del terreno que brinde estética y evite dispersión de material volátil en áreas adyacentes al sitio de relleno.

#### **4.9. Presupuesto**

Se efectuó un análisis de los costos fijos (costos de urbanización, administrativos, gastos de depreciación) y variables (costos de construcción, gastos jurídicos/técnicos, gastos financieros) del proyecto.

## **CAPITULO 5. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**



## 5.1. Determinación de población para diagnóstico

Los datos utilizados para realizar el cálculo de población muestral son:

N= 5251 habitantes

Z= 1.9

e= 0.05

(p/q) = 0.5

n= 318 habitantes

$$n = \frac{N}{1 + \left[ \frac{e^2(N-1)}{Z^2 * (p*q)} \right]} = \frac{5251}{1 + \left[ \frac{0.05^2(5251-1)}{1.9^2 * (0.5)} \right]} = 318$$

Se realizó el diagnóstico del manejo que se da a los residuos sólidos en San Juan de Limay, encuestando a 318 habitantes del municipio seleccionados al azar (**ver anexo A, encuestas**).

## 5.2. Cálculos para residuos sólidos generados en San Juan de Limay

### 5.2.1. Muestra para caracterización

**Tabla 1:** Población muestral para caracterización de residuos sólidos

<b>DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN MUESTRAL PARA REALIZAR LA CARACTERIZACIÓN FISIOQUIMICO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DE SAN JUAN DE LIMAY</b>			
Para efectos de analizar los cálculos de la fórmula se utilizaron los siguientes valores:			
	Población total	5,251	Hab
$n = \frac{N * t^2 * S^2}{N * d^2 + t^2 * S^2}$	N = Tamaño de la población, en unidades de vivienda	833	Viviendas
	t = Factor que para “n” ? a 30 y con 95% de certeza puede tomarse t = 2.	2	

Población muestral para caracterización de residuos sólidos			
	95% de certeza	0.95	
	S = desviación estándar de la variable, tomarse entre 0.5 a 4:	1.75	gr/hab-día)
	d= Margen de error aceptado en la PPC, tomarse entre 0.1 a 0.5 Kg./vivienda-día	0.5	gr/hab-día)
	$n = \frac{(N*(t*t)*(S*S))}{[(N)*(d*d)+(t*t)*(S*S)]}$	61	Viviendas
<b>EN CUALQUIER CASO: SE RECOMIENDA QUE “n” SEA MAYOR O IGUAL QUE 30 viviendas.</b>			

**Fuente:** Dr Edouard Jacotin 2019, aplicación de la fórmula basada en desviación estándar para realizar muestreos.

Según los resultados obtenidos en la hoja de cálculo efectuada en la **tabla N°1** para la población muestral, la caracterización de residuos sólidos en el municipio de San Juan de Limay se realizó a una muestra de 61 viviendas seleccionadas al azar.

### 5.2.2. Calculo de producción per cápita

**Tabla 2:** Producción per cápita de San Juan de Limay

REGISTRO DE DATOS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY.												
Vivienda Seleccionada			Peso de basura recolectada en la semana de Muestreo (lbs)							lbs acum.	lb/casa	lb/hab/día
Código	# hab	Carácter	Martes	Miercoles	Jueves	Vier nes	Saba do	Do mi ng o	L u n es	Se ma nal	Pro med io	P. per Cáp

Producción per cápita de San Juan de Limay												
1 - CU- SJL	3		2	1	2	3	2	0	1	11.0 0	1.57	0.52
2 - CU- SJL	3		11	2	4	2	5	3	2. 5	29.5 0	4.21	1.40
3 - CU- SJL	6		5	1	1	2.5	2	2.5	2	16.0 0	2.29	0.38
4 - CU- SJL	5		5	3	2	1	3.5	5	1. 5	21.0 0	3.00	0.60
5 - CU- SJL	3		1	1.5	0.5	2	2	1	1	9.00	1.29	0.43
6 - CU- SJL	2		3	2	1	3	0	2.5	1	12.5 0	1.79	0.89
7 - CU- SJL	5		3	1	2	2	0.5	1	2. 5	12.0 0	1.71	0.34
8 - CU- SJL	5		0	0.5	0	1.5	1.5	1.5	1	6.00	0.86	0.17
9 - CU- SJL	5		2.5	0.5	0.5	1.5	2.5	0	1. 5	9.00	1.29	0.26
10 - CU- SJL	5		1	1	1	2.5	2	2	3. 5	13.0 0	1.86	0.37
11 - CU- SJL	3		2	3	2.5	3	3	2.5	2	18.0 0	2.57	0.86
12 - CU- SJL	3		1	2.5	1	2	2	1	1	10.5 0	1.50	0.50
13 - CU- SJL	4		4	2	1	3.5	1	4	1. 5	17.0 0	2.43	0.61
14 - CU- SJL	5		1	1	0	2	0	2	2	8.00	1.14	0.23
15 - CU- SJL	5		5	1	0.5	2.5	2.5	3	3	17.5 0	2.50	0.50

Producción per cápita de San Juan de Limay												
16 - CU- SJL	4		1	2.5	3.5	3.5	1	3	2	16.5 0	2.36	0.59
17 - CU- SJL	4		1	0.5	0.5	1	0.5	2.5	0	6.00	0.86	0.21
18 - CU- SJL	4		0	0	0	1	0	2	1	4.00	0.57	0.14
19 - CU- SJL	5		0.5	1.5	2	2.5	3.5	1.5	1	12.5 0	1.79	0.36
20 - CU- SJL	7		0	0	1.5	2	1	2	0	6.50	0.93	0.13
21 - CU- SJL	3		1	1.5	2	1	3	0.5	0. 5	9.50	1.36	0.45
22 - CU- SJL	7		26	15	7	19	21	14	24	126. 00	18.0 0	2.57
23 - CU- SJL	2		12.5	3	5	9	7.5	10	15	62.0 0	8.86	4.43
24 - CU- SJL	6		14.5	3.5	3	5	4	12	10	52.0 0	7.43	1.24
25 - CU- SJL	6		31.5	11	10	10.5	12	15	8	98.0 0	14.0 0	2.33
26 - CU- SJL	3		24.5	7.5	8	2	5	18	12 .5	77.5 0	11.0 7	3.69
27 - CU- SJL	3		17	3	2	3.5	0.5	0	0	26.0 0	3.71	1.24
28 - CU- SJL	8		8.5	7.5	5	4	10	5	7	47.0 0	6.71	0.84
29 - CU- SJL	8		11.5	6	0.5	10	7	3	8. 5	46.5 0	6.64	0.83
30 - CU- SJL	3		2	1	0.5	3	2	0.5	4	13.0 0	1.86	0.62

Producción per cápita de San Juan de Limay												
31 - CU- SJL	6		30	10	4	15	17	13	15	104.00	14.86	2.48
32 - CU- SJL	6		9	4	3	7	5	2	0	30.00	4.29	0.71
33 - CU- SJL	4		5	7	0.5	2	8	1.5	4	28.00	4.00	1.00
34 - CU- SJL	4		3	1	0.5	2.5	0.5	1	3	11.50	1.64	0.41
35 - CU- SJL	3		2	4.5	1	0.5	0	3	5	16.00	2.29	0.76
36 - CU- SJL	2		12	6.5	0.5	11.5	14	9.5	15	69.00	9.86	4.93
37 - CU- SJL	4		15	10	3.5	12	11.5	8	0	60.00	8.57	2.14
38 - CU- SJL	2		6	3	1	5	3	1	4	23.00	3.29	1.64

Vivienda Seleccionada			Peso de basura recolectada en la semana de Muestreo (lbs)							lbs acu m.	lb/c asa	lb/h ab/d ía
Có dig o	# h a b	Caráct er	Martes	Mi érc ole s	Ju ev es	Vi er ne s	Sá ba do	Do mi ng o	Lu ne s	Se ma nal	Pro me dio	P. per Cáp
38 - CU- SJL	4		4	1.5	3	2	7	0.5	6	24.00	3.43	0.86
39 - CU- SJL	2		10	17	2	6	0	2	12	49.00	7.00	3.50
40 - CU- SJL	4		25	9	12	1.5	10.5	2	10	70.00	10.00	2.50

Producción per cápita de San Juan de Limay												
41 - CU- SJL	5		18	8	5	5	14	10	19	79. 00	11.2 9	2.26
42 - CU- SJL	1		1.5	1	2	3	2	1	4	14. 50	2.07	2.07
43 - CU- SJL	2		2	1	1	2	1	3	3	13. 00	1.86	0.93
44 - CU- SJL	8		1.5	2	3	1	2	2.5	4	16. 00	2.29	0.29
45 - CU- SJL	6		1.5	1	1	2	4	1.5	2	13. 00	1.86	0.31
46 - CU- SJL	5		7	3	2	2	3	1	1	19. 00	2.71	0.54
47 - CU- SJL	5		4	2	1	0	2	2	3	14. 00	2.00	0.40
48 - CU- SJL	7		2	1	2	2	3	3	1	14. 00	2.00	0.29
49 - CU- SJL	8		9	3	1. 5	2	2. 5	1	2	21. 00	3.00	0.38
50 - CU- SJL	5		5	3	1. 5	1	1. 5	2	3	17. 00	2.43	0.49
51 - CU- SJL	4		4	1	1	1	1	2	2	12. 00	1.71	0.43
52 - CU- SJL	1		25	6	2	1	2	1	3	40. 00	5.71	5.71
53 - CU- SJL	5		3	1	1. 5	2	1	0	1. 5	10. 00	1.43	0.29
54 - CU- SJL	2		2	0.5	1	2	3	1	2	11. 50	1.64	0.82
55 - CU- SJL	4		1	0.5	1. 5	1	1	2	3	10. 00	1.43	0.36

De acuerdo a los datos del muestreo en período seco, se puede deducir una producción promedio de generación de basura semanal por el orden de 0.912 lbs/casa al día, o también se puede estimar la producción per cápita de basura en 0.41 kg/hab\*día.

Siglas : **CU- SJL** Casco Urbano San Juan de Limay

### 5.2.3. Densidad de residuos

**Tabla 3:** Densidad suelta de residuos en San Juan de Limay

<b>CALCULO DE LA DENSIDAD SUELTA DE LOS RESIDUOS SOLIDOS DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY.</b>									
	Peso del residuo por recipiente lleno* (lb)					Promedio	DESV. EST.	%	Densida d
	Med #1	Med #2	Med #3	Med #4	Med #5	(lb)			Calcula da
<b>Martes</b>	40.0	51.0	49.0	-	-	46.7	5.9	12.6	17 kg/ 8 m <sup>3</sup>
<b>Miércoles</b>	20.0	28.0	33.0	-	-	27.0	6.6	24.3	10 kg/ 3 m <sup>3</sup>
<b>Jueves</b>	25.0	18.0	24.0	-	-	22.3	3.8	17.0	kg/ 85 m <sup>3</sup>
<b>Viernes</b>	26.0	25.0	34.0	24.0	54.0	32.6	12.6	38.7	12 kg/ 5 m <sup>3</sup>
<b>Sábado</b>	24.0	24.0	22.0	26.0	14.0	22.0	4.7	21.3	kg/ 84 m <sup>3</sup>
<b>Domingo</b>	19.0	29.0	34.0	23.0	-	26.3	6.6	25.1	10 kg/ 0 m <sup>3</sup>
<b>Lunes</b>	29.0	14.0	32.0	31.0	10.0	23.2	10.4	44.7	kg/ 89 m <sup>3</sup>
<b>Martes</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	kg/ 0 m <sup>3</sup>
DESV. EST.	11.29	14.55	14.08	12.03	23.74	25.01	6.3	26.24	
								22.96	



Densidad suelta de residuos en San Juan de Limay

**Densidad  
Promedio =**

**kg/  
96 m<sup>3</sup>**

\* Geometría del recipiente:

Altura = 67 Cm

Diám Inter = 47.5 Cm

Volumen = 0.119 m<sup>3</sup>

**Fuente: Dr Edouard Jacotin**

## 5.2.4. Composición física de los residuos

**Tabla 4:** Tabla de composición física de residuos en San Juan de Limay

<b>COMPOSICION FISICA DE LOS RESIDUOS SOLIDOS DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY.</b>										
	<b>Mues tra</b>	<b>Res. Com</b>	<b>Res. Patio</b>	<b>Papel/ cart</b>	<b>Plásti co</b>	<b>Tel as</b>	<b>Metal es</b>	<b>Hu le</b>	<b>Vidr io</b>	<b>Otr os</b>
<b>Martes 1 (lb)</b>	<b>54.0</b>	0.00	49.00	1.00	3.00	0.0	0.50	0.5	0.0	0.0
<b>%</b>		<b>0.0</b>	<b>90.7</b>	<b>1.9</b>	<b>5.6</b>	<b>0.0</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Miércoles (lb)</b>	<b>31.5</b>	7.00	21.00	1.00	2.00	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>%</b>		<b>22.2</b>	<b>66.7</b>	<b>3.2</b>	<b>6.3</b>	<b>1.6</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Jueves (lb)</b>	<b>34.0</b>	5.00	24.00	1.00	3.00	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0
<b>%</b>		<b>14.7</b>	<b>70.6</b>	<b>2.9</b>	<b>8.8</b>	<b>0.0</b>	<b>2.9</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Viernes (lb)</b>	<b>38.0</b>	13.00	20.00	0.50	3.00	0.0	0.50	0.5	0.5	0.0
<b>%</b>		<b>34.2</b>	<b>52.6</b>	<b>1.3</b>	<b>7.9</b>	<b>0.0</b>	<b>1.3</b>	<b>1.3</b>	<b>1.3</b>	<b>0.0</b>
<b>Sábado (lb)</b>	<b>32.5</b>	12.00	14.00	4.50	2.00	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0
<b>%</b>		<b>36.9</b>	<b>43.1</b>	<b>13.8</b>	<b>6.2</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Domingo (lb)</b>	<b>15.5</b>	1.0	12.00	0.50	1.00	0.0	0.00	0.0	0.0	1.0
<b>%</b>		<b>6.5</b>	<b>77.4</b>	<b>3.2</b>	<b>6.5</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>6.5</b>
<b>Lunes (lb)</b>	<b>40.0</b>	0.00	33.00	1.00	4.00	1.0	0.50	0.0	0.5	0.0
<b>%</b>		<b>0.0</b>	<b>82.5</b>	<b>2.5</b>	<b>10.0</b>	<b>2.5</b>	<b>1.3</b>	<b>0.0</b>	<b>1.3</b>	<b>0.0</b>
<b>Martes 2 (lb)</b>										
<b>%</b>										
<b>PROMEDIO (lb)</b>		<b>6.2</b>	<b>26.8</b>	<b>1.5</b>	<b>2.8</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.0</b>
<b>% en Peso</b>		<b>18.0</b>	<b>67.7</b>	<b>4.3</b>	<b>7.5</b>	<b>0.7</b>	<b>1.1</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.0</b>

Elaboración propia

Como resultado en la tabla de composición física de los residuos sólidos en San Juan de Limay realizada a través del método del cuarteo, se obtuvo un mayor porcentaje de restos de patio con un 68% respecto al peso total de la muestra.

### 5.3. Estudios realizados

#### 5.3.1. Contenido de humedad natural en residuos solidos

**Tabla 5:** Tabla de contenido de humedad en residuos solidos

Muestra 1			
Contenido de humedad de residuos			Contenido de humedad
Símbolos	Descripción	Gramos	
Wr	Masa del recipiente	143.5	
Wh	Masa del recipiente + residuos húmedos	598	
Ws	Masa del recipiente + residuos secos	505	
Ww	Masa del agua	93	W%= 25.7
Wp	Masa de los residuos	268.5	

Muestra 2			
Contenido de humedad de residuos			Contenido de humedad
Símbolos	Descripción	Gramos	
Wr	Masa del recipiente	146	
Wh	Masa del recipiente + suelo húmedo	599	
Ws	Masa del recipiente + suelo seco	528	
Ww	Masa del agua	71	W%= 18.6
Wp	Masa de partículas de suelo	311	
Humedad promedio			22.16

Elaboración propia

#### 5.3.2. Humedad natural en el suelo

$$w(\%) = \frac{wh - ws}{ws - wr} * 100$$

Muestra 1		
Contenido de humedad del suelo		
Símbolos	Descripción	Gramos
Wr	Masa del recipiente	156.5
Wh	Masa del recipiente + suelo húmedo	656.5
Ws	Masa del recipiente + suelo seco	572.5
Ww	Masa del agua	84
Wp	Masa de partículas de suelo	416

Contenido de humedad prueba 1

$$w(\%) = \frac{656.5 - 572.5}{572.5 - 156.5} * 100 = 20.2\%$$

Muestra 2		
Contenido de humedad del suelo		
Símbolos	Descripción	Gramos
Wr	Masa del recipiente	147
Wh	Masa del recipiente + suelo húmedo	647
Ws	Masa del recipiente + suelo seco	477.5
Ww	Masa del agua	169.5
Wp	Masa de partículas de suelo	330.5

Contenido de humedad prueba 2

$$w(\%) = \frac{647 - 477.5}{477.5 - 147} * 100 = 51.3$$

Contenido de humedad promedio

$$w \text{ promedio}(\%) = \frac{w1 + w2}{2}$$

$$w \text{ promedio}(\%) = \frac{20.2 + 51.3}{2} = 35.7\%$$

### 5.3.3. Granulometría

#### Tamiz $\frac{3}{4}$ "

- Porcentaje Retenido:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{Mr}{Mt} * 100$$

$$\% \text{ Retenido} = \frac{73}{593} * 100 = 12.31\%$$

- Porcentaje Retenido Acumulado:

$$\% \text{ Retenido Acomulado} = 12.31\%$$

- Porcentaje que Pasa:

$$\% \text{ que Pasa} = 100 - 12.31 = 87.69\%$$

#### Tamiz $\frac{1}{2}$ "

- Porcentaje Retenido:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{Mr}{Mt} * 100$$

$$\% \text{ Retenido} = \frac{45}{593} * 100 = 7.59\%$$

- Porcentaje Retenido Acumulado:

$$\% \text{ Retenido Acomulado} = 19.90\%$$

- Porcentaje que Pasa:

$$\% \text{ que Pasa} = 100 - 19.90 = 80.10\%$$

#### Tamiz $\frac{3}{8}$ "

- Porcentaje Retenido:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{Mr}{Mt} * 100$$

$$\% \text{ Retenido} = \frac{28.5}{593} * 100 = 4.81\%$$

- Porcentaje Retenido Acumulado:

$$\% \text{ Retenido Acomulado} = 24.70\%$$

- Porcentaje que Pasa:

$$\% \text{ que Pasa} = 100 - 24.70 = 75.30\%$$

### **Tamiz N° 10**

- Porcentaje Retenido:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{Mr}{Mt} * 100$$

$$\% \text{ Retenido} = \frac{156}{593} * 100 = 26.31\%$$

- Porcentaje Retenido Acumulado:

$$\% \text{ Retenido Acomulado} = 51.01\%$$

- Porcentaje que Pasa:

$$\% \text{ que Pasa} = 100 - 51.01 = 48.99\%$$

### **Tamiz N° 40**

- Porcentaje Retenido:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{Mr}{Mt} * 100$$

$$\% \text{ Retenido} = \frac{111}{593} * 100 = 18.72\%$$

- Porcentaje Retenido Acumulado:

$$\% \text{ Retenido Acomulado} = 69.73\%$$

- Porcentaje que Pasa:

$$\% \text{ que Pasa} = 100 - 69.73 = 30.27\%$$

### **Tamiz N°50**

- Porcentaje Retenido:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{Mr}{Mt} * 100$$

$$\% \text{ Retenido} = \frac{36}{593} * 100 = 6.07\%$$

- Porcentaje Retenido Acumulado:

$$\% \text{ Retenido Acomulado} = 75.80\%$$

- Porcentaje que Pasa:

$$\% \text{ que Pasa} = 100 - 75.80 = 24.20\%$$

### **Tamiz N°100**

- Porcentaje Retenido:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{Mr}{Mt} * 100$$

$$\% \text{ Retenido} = \frac{92}{593} * 100 = 15.51\%$$

- Porcentaje Retenido Acumulado:

$$\% \text{ Retenido Acomulado} = 91.32\%$$

- Porcentaje que Pasa:

$$\% \text{ que Pasa} = 100 - 91.32 = 8.68\%$$

### **Tamiz N°200**

- Porcentaje Retenido:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{Mr}{Mt} * 100$$

$$\% \text{ Retenido} = \frac{34.5}{593} * 100 = 5.82\%$$

- Porcentaje Retenido Acumulado:

$$\% \text{ Retenido Acomulado} = 97.13\%$$

- Porcentaje que Pasa:

$$\% \text{ que Pasa} = 100 - 97.13 = 2.87\%$$

### **Final**

- Porcentaje Retenido:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{Mr}{Mt} * 100$$

$$\% \text{ Retenido} = \frac{13.5}{593} * 100 = 2.28\%$$

- Porcentaje Retenido Acumulado:

$$\% \text{ Retenido Acomulado} = 99.41\%$$

### **Resultado**

Según el análisis granulométrico realizado a la muestra, el tipo de suelo en el área estudiada es SP (arena mal gradada).



#### 5.3.4. Compactación (próctor modificado)

-Área del molde

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Datos	
Altura del molde (cm)	10.5
Diámetro (cm)	10

$$A = \frac{\pi * 10cm^2}{4} = 86.59cm^2$$

-Volumen del molde

$$V = A * H$$

$$V = 86.59cm^2 * 10.5cm = 909.20cm^3$$

-Porcentaje de humedad muestra1

Datos	
Peso del agua gr	8.5
Peso del suelo seco gr	29.5

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_p} * 100$$

$$w(\%) = \frac{8.5}{29.5} * 100 = 28.81\%$$

-Porcentaje de humedad muestra 2

Datos	
Peso del agua gr	8.5
Peso del suelo seco gr	29.5

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_p} * 100$$

$$w(\%) = \frac{8.5}{29.5} * 100 = 28.81\%$$

-Porcentaje de humedad muestra 3

Datos	
Peso del agua gr	8.5
Peso del suelo seco gr	29.5

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_p} * 100$$

$$w(\%) = \frac{8.5}{29.5} * 100 = 28.81\%$$

-Porcentaje de humedad muestra 4

Datos	
Peso del agua gr	8.5
Peso del suelo seco gr	29.5

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_p} * 100$$

$$w(\%) = \frac{8.5}{29.5} * 100 = 28.81\%$$

-Porcentaje de humedad muestra 5

Datos	
Peso del agua gr	8
Peso del suelo seco gr	30

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_p} * 100$$

$$w(\%) = \frac{8}{30} * 100 = 26.67\%$$

-Porcentaje de humedad muestra 6

Datos	
Peso del agua gr	8

Peso del suelo seco gr	30
------------------------	----

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_p} * 100$$

$$w(\%) = \frac{8}{30} * 100 = 26.67\%$$

-Porcentaje de humedad muestra 7

Datos	
Peso del agua gr	8.5
Peso del suelo seco gr	29.5

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_p} * 100$$

$$w(\%) = \frac{8.5}{29.5} * 100 = 28.81\%$$

-Porcentaje de humedad muestra 8

Datos	
Peso del agua gr	8
Peso del suelo seco gr	30

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_p} * 100$$

$$w(\%) = \frac{8}{30} * 100 = 26.67\%$$

-Densidad húmeda muestra

$$\rho_{hum} = \frac{w_{hum}}{v}$$

Datos				
Peso muestra (gr)	3796.56	3655.95	3628.73	3769.35
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	909.20	909.20	909.20	909.20

-Densidad húmeda muestra 1

$$\rho_{hum} = \frac{3796.56}{909.20} = 4.18$$

-Densidad húmeda muestra 2

$$\rho_{hum} = \frac{3655.95}{909.20} = 4.02$$

-Densidad húmeda muestra 3

$$\rho_{hum} = \frac{3628.73}{909.20} = 3.99$$

-Densidad húmeda muestra 4

$$\rho_{hum} = \frac{3769.35}{909.20} = 4.15$$

-Densidad seca

$$\rho_s = \frac{\rho_{hum}}{(1 + w)/100}$$

Datos				
Densidad húmeda	4.18	4.02	3.99	4.15
Contenido de humedad final	28.81	28.81	26.67	27.74

-Densidad seca muestra 1

$$\rho_s = \frac{4.18}{(1 + 28.81)/100} = 3.24$$

-Densidad seca muestra 2

$$\rho_s = \frac{4.02}{(1 + 28.81)/100} = 3.12$$

-Densidad seca muestra 3

$$\rho_s = \frac{3.99}{(1 + 26.67)/100} = 3.15$$

-Densidad seca muestra 4

$$\rho_s = \frac{4.15}{(1 + 27.74)/100} = 3.25$$

### 5.3.5. Límites de consistencia

#### Límite líquido

-Porcentaje de humedad

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_p} * 100$$

Muestra 1		
Símbolo	Descripción	Gramos
<b>Ww</b>	Peso de agua presente en la masa de suelo	7
<b>Wp</b>	Peso seco de los sólidos	13

$$w(\%) = \frac{7g}{13g} * 100 = 53.85\%$$

Muestra 2 peso= 21g		
Símbolo	Descripción	Gramos
<b>Ww</b>	Peso de agua presente en la masa de suelo	5.5
<b>Wp</b>	Peso seco de los sólidos	9.5

$$w(\%) = \frac{5.5g}{9.5g} * 100 = 57.89\%$$

Límite líquido

LI= 57.1

### Limite plástico

-Porcentaje de humedad

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_p} * 100$$

Muestra 1		
Símbolo	Descripción	Gramos
<b>Ww</b>	Peso de agua presente en la masa de suelo	1.5
<b>Wp</b>	Peso seco de los sólidos	4.5

$$w(\%) = \frac{1.5g}{4.5g} * 100 = 33.33$$

Muestra 2 peso= 21g		
Símbolo	Descripción	Gramos
<b>Ww</b>	Peso de agua presente en la masa de suelo	1.5
<b>Wp</b>	Peso seco de los sólidos	4.5

$$w(\%) = \frac{1.5g}{4.5g} * 100 = 33.33$$

-Límite plástico

$$LP = \frac{W1 + W2}{n}$$

$$LP = \frac{33.33 + 33.33}{2} = 33.33$$

-índice de plasticidad

$$IP = LL - LP$$

$$IP = 57.1 - 33.33 = 23.77$$

### 5.3.6. Permeabilidad del suelo

Tiempo (minutos)	$\Delta H$ (cm)
120	0.6
120	0.5
120	0.3

1. Área de la calicata

$$A = b \cdot h$$

$$\text{Área} = 100 \cdot 60 = 6000 \text{ cm}^2$$

2. Altura promedio

$$H_{\text{prom}} = \frac{\sum H}{n} = \frac{0.6 + 0.5 + 0.3}{3} = 0.5 \text{ cm}$$

3. Volumen promedio drenado

$$V = A \cdot H_{\text{prom}} = 6000 \cdot 0.5 = 3000 \text{ cm}^3$$

5. Coeficiente de permeabilidad

$$K = \frac{V \cdot L}{H \cdot A \cdot t} = \frac{3000 \cdot 10}{0.5 \cdot 6000 \cdot 7200} = 1.38 \cdot 10^{-3}$$

## 5.4. Servicio de recolección

### 5.4.1. Calculo de unidades requeridas para recolección de residuos

**Tabla 6:** Tabla de unidades requeridas para recolección

DETERMINAR NUMERO DE UNIDADES REQUERIDAS								
LIMAY 2019								
BASE DE DATOS								
T0 + T1	19	min.	DENSIDADES DS			TAMAÑO / CAPACIDAD CAMION		
T2	110	min.	DDSS	96	kg/m³	Peso camión	5,000	kg
T3	4	min.	DDSc	450	kg/m³	Vol.Cam. Comp.	12	m³
T4	15	min.	DDSc	650	kg/m³	Vol.Cam. Plat.	12	m³
T5	3	min.	FREC. DE RECOL.EC.			GENERACION.UNIT Y COBERTURA		
T6	190	min.	X	1	carga/día	PPC:	kg/hab/dí 0.414 a	
T7	6	min.	X	2	carga/día	Cobert.	95.00 %	
T8	15	min.	X	3	carga/día	Pob.	5,003 hab	
T9	0.10	min.	N	1	serv/sem	P X / casa :	5 hab/casa	
1 Tonelada =	1,000	kg	N	2	serv/sem	No Días trabajo	6	días
1 m3 =	1,000	lt	N	3	serv/sem	No Días /Semana	7	días
1 Galon	3.76	lt	TIEMP.DE REC. Y TRANSP.			CONVERSION UNIDADES		
CALCULOS DE LAS UNIDADES REQUERIDAS EN EL TIEMPO								
	TR	PR B	VRB	VRB	Nu	Pc	X	Unid.



Tabla de unidades requeridas para recolección

	(min)	(kg)	(m³)	(gl)	ser/ton	kg	(veces/d)	Req.
Cam Comp.	231	3.4	0.005	1.385	296	82	0.48	1
Cam Plat..	191	2.8	0.006	1.68	353	57	0.59	1
TR	Tiempo de recorrido efectivo							
PRB	Peso del recipiente, por casa							
N	Frecuencia semanal de recolección (diseño)							
VRB	Volumen de residuos en cada recipiente							
Nu	Casas servidas para cargar una ton. de DS							
Pc	Peso de los residuos, por viaje							
Vc	Volumen del vehículo recolector (diseño)							
X	Frecuencia diaria de recolección (calculada)							
Unid. Req.	No de vehículos necesarios para el servicio.							

DETERMINAR NUMERO DE UNIDADES REQUERIDAS PARA SATISFACER LA RECOLECCION DE RESIDUOS SOLIDOS AÑO 2023								
BASE DE DATOS								
T0 + T1	19	min.	DENSIDADES DS			TAMAÑO / CAPACIDAD CAMION		
T2	110	min.	DDSs	96	kg/m³	Peso camión	5,000	kg
T3	4	min.	DDSc	450	kg/m³	Vol.Cam. Comp.	12	m³
T4	15.00	min.	DDSc	650	kg/m³	Volum.Cam. Plat.	12	m³
T5	3	min.	FREC. DE RECOL.EC.			GENERR.UNIT Y COBERTUR		
T6	190	min.	X	1	carga/día	PPC:	kg/hab/dí 0.431 a	

Tabla de unidades requeridas para recolección								
T7	6	min	X		2 carga/día	Cobert.	95.00 %	
T8	15	min	X		3 carga/día	Pob.	5,061 hab	
T9	0.10	min	N		1 serv/sem	P X / casa :	5 hab/casa	
11 Tonelada =	1,000	kg	N		2 serv/sem	No Días trabajo	6 días	
1 m3 =	1,000	lt	N		3 serv/sem	No Días /Semana	7 días	
1 Galon	3.76	lt	TIEMP.DE REC. Y TRANSP.			CONVERSION UNIDADES		
CALCULOS DE LAS UNIDADES REQUERRIDAS EN EL TIEMPO								
	TR	PR B	VRB	VRB	Nu	Pc	X	Unid.
	(min)	(kg)	(m³)	(gl)	ser/ton	kg	(veces/d )	Req.
Cam Comp.	191	2.8	0.01	1.68	353	57	0.5	1
Cam Plat..	191	2.8	0.004	1.16	353	57	0.4	1

DETERMINAR NUMERO DE UNIDADES REQUERIDAS PARA SATISFACER LA RECOLECCION DE RESIDUOS SOLIDOS AÑO 2028								
BASE DE DATOS								
T0 + T1	19	min.	DENSIDADES DS			TAMAÑO / CAPACIDAD CAMION		
T2	110	min.	DDSS	96	kg/m³	Peso camión	5,000	kg
T3	4	min.	DDSc	450	kg/m³	Vol.Cam. Comp.	12	m³
T4	15.00	min	DDSc	650	kg/m³	Volum.Cam. Plat.	12	m³

Tabla de unidades requeridas para recolección

T5	3	min	FREC. DE RECOL.EC.			GENERR.UNIT Y COBERTUR		
T6	190	min	X	1	carga/día	PPC:	kg/hab/dí	
T7	6	min	X	2	carga/día	Cobert.	95.00 %	
T8	15	min	X	3	carga/día	Pob.	5,135 hab	
T9	0.10	min	N	1	serv/sem	P X / casa :	5 hab/casa	
11 Tonelada =	1,000	kg	N	2	serv/sem	No Días trabajo	6 días	
1 m3 =	1,000	lt	N	3	serv/sem	No Días /Semana	7 días	
1 Galon	3.76	lt	TIEMP.DE REC. Y TRANSP.			CONVERSION UNIDADES		
CALCULOS DE LAS UNIDADES REQUERRIDAS EN EL TIEMPO								
	TR	PR B	VRB	VRB	Nu	Pc	X	Unid.
	(min)	(kg)	(m³)	(gl)	ser/ton	kg	(veces/d )	Req.
Cam Comp.	191	2.8	0.01	1.68	353	57	0.6	1
Cam Plat..	191	2.8	0.004	1.16	353	57	0.5	1

<b>DETERMINAR NUMERO DE UNIDADES REQUERIDAS PARA SATISFACER LA RECOLECCION DE RESIDUOS SOLIDOS AÑO 2033</b>								
<b>BASE DE DATOS</b>								
T0 + T1	19	min.	DENSIDADES DS			TAMAÑO / CAPACIDAD CAMION		
T2	110	min.	DDSs	96	kg/m³	Peso camión	5,000	kg

Tabla de unidades requeridas para recolección								
T3	4	min.	DDSc	450	kg/m³	Vol.Cam. Comp.	12	m³
T4	15.00	min.	DDSc	650	kg/m³	Volum.Cam. Plat.	12	m³
T5	3	min.	FREC. DE RECOL.EC.			GENERR.UNIT Y COBERTUR		
T6	190	min.	X	1	carga/día	PPC:	kg/hab/dí 0.476 a	
T7	6	min.	X	2	carga/día	Cobert.	95.00 %	
T8	15	min.	X	3	carga/día	Pob.	2,480 hab	
T9	0.10	min.	N	1	serv/sem	P X / casa :	5 hab/casa	
11 Tonelada =	1,000	kg	N	2	serv/sem	No Días trabajo	6 días	
1 m3 =	1,000	lt	N	3	serv/sem	No Días /Semana	7 días	
1 Galon	3.76	lt	TIEMP.DE REC. Y TRANSP.			CONVERSION UNIDADES		
CALCULOS DE LAS UNIDADES REQUERRIDAS EN EL TIEMPO								
	TR	PR B	VRB	VRB	Nu	Pc	X	Unid.
	(min)	(kg)	(m³)	(gl)	ser/ton	kg	(veces/d )	Req.
Cam Comp.	191	2.8	0.01	1.68	353	57	0.7	1
Cam Plat..	191	2.8	0.004	1.16	353	57	0.5	1

DETERMINAR NUMERO DE UNIDADES REQUERIDAS PARA SATISFACER LA RECOLECCION DE RESIDUOS SOLIDOS AÑO 2038
BASE DE DATOS

Tabla de unidades requeridas para recolección

T0 + T1	19	min.	DENSIDADES DS			TAMAÑO / CAPACIDAD CAMION		
T2	110	min.	DDSS	96	kg/m³	Peso camión	5,000	kg
T3	4	min.	DDSc	450	kg/m³	Vol.Cam. Comp.	12	m³
T4	15.00	min	DDSc	650	kg/m³	Volum.Cam. Plat.	12	m³
T5	3	min	FREC. DE RECOL.EC.			GENERR.UNIT Y COBERTUR		
T6	190	min	X	1	carga/día	PPC:	kg/hab/dí 0.476 a	
T7	6	min	X	2	carga/día	Cobert.	95.00 %	
T8	15	min	X	3	carga/día	Pob.	5,286 hab	
T9	0.10	min	N	1	serv/sem	P X / casa :	5 hab/casa	
11 Tonelada =	1,000	kg	N	2	serv/sem	No Días trabajo	6	días
1 m3 =	1,000	lt	N	3	serv/sem	No Días /Semana	7	días
1 Galon	3.76	lt	TIEMP.DE REC. Y TRANSP.			CONVERSION UNIDADES		
CALCULOS DE LAS UNIDADES REQUERRIDAS EN EL TIEMPO								
	TR	PR B	VRB	VRB	Nu	Pc	X	Unid.
	(min)	(kg)	(m³)	(gl)	ser/ton	kg	(veces/d )	Req.
Cam Comp.	191	2.8	0.01	1.68	353	57	1	1
Cam Plat..	191	2.8	0.004	1.16	353	57	0	1

Fuente: PhD. Edouard Jacotin

En resumen, se necesitará un vehículo colector con capacidad de 12m<sup>3</sup> para realizar de manera eficiente la cobertura de 95% en el municipio, con una frecuencia de recolección de dos veces por semana y un viaje cada día de recolección, proponiendo un vehículo con plataforma de volteo.

#### 5.4.2. Capacidad optima de unidad de recolección

**Tabla 7:** Cálculo de capacidad optima de unidad por itinerario de ruta

CALCULO DE CAPACIDAD OPTIMA DE LA UNIDAD DEL ITINERARIO DE LA RUTA I											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Nº Sec t.	Nomb.Sec tor	Nº Año o.	Tasa de crecim/a ño ( %)	Poblaci ón (hab)	Pobla. proyect. (hab/año)	cobe rt (%)	Pobla. Servi da (# hab)	PPC (Kg/Hab/ día)	Ds Generada (kg/día)	Densidad DS compact. (Kg/m3)	Vol. Ds Generada (m³/día)
					$E \times (1+D)^c$	$(1.01 \times F \text{ celda sup.})$	$(F \times G)$	$(1.01 \times H \text{ celda sup.})$	$(H \times I)$		$(J / K)$
			0.29			95		0.41		450	
1		1	0.0029	895	898	95.48	857	0.41	355	450	0.79
2		1	0.0029	1,105	1,108	95.48	1,058	0.41	438	450	0.97

Cálculo de capacidad optima de unidad por itinerario de ruta

3		1	0.0029	500	501	95.48	479	0.41	198	450	0.44
<b>TOTAL</b>				<b>2,500</b>							
<b>Condiciones:</b> La población tributaria del itinerario o de la población servida debe de ser inferior o igual a 5,251 habitantes								<b>Condiciones:</b> El volumen recolectado correspondiente a la población tributaria del itinerario o a la población servida debe de ser inferior o igual a 12m <sup>3</sup>			
<b>Satisface</b>							<b>2,394</b>	<b>Satisface</b>	<b>2.20</b>		

CALCULO DE CAPACIDAD OPTIMA DE LA UNIDAD DEL ITINERARIO DE LA RUTA II											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Nº Sec t.	Nomb.Sec tor	Nº Año o.	Tasa de crecim./a ño (%)	Poblaci ón (hab)	Pobla. proyect. (hab/año)	cobe rt (%)	Pobla . Servi da (# hab)	PPC (Kg/Hab/ día)	Ds Generad a (kg/día)	Densidad DS compact. (Kg/m3)	Vol. Ds Generada (m³/día)
					$E \times (1+D)^c$	$(1.01 \times F \text{ celda sup.})$	$(F \times G)$	$(1.01 \times H \text{ celda sup.})$	$(H \times I)$		$(J / K)$
			0.29			95		0.41		450	

Cálculo de capacidad optima de unidad por itinerario de ruta												
1		1	0.0029	1,031	1,034	95.4 8	987	0.41	409	450	0.91	
2		1	0.0029	1,070	1,073	95.4 8	1,025	0.41	424	450	0.94	
3		1	0.0029	650	652	95.4 8	622	0.41	258	450	0.57	
					0	95.9 5						
TOTAL				2,751								
Condiciones: La población tributaria del itinerario o de la población servida  debe de ser inferior o igual a 5,251 habitantes								Condiciones: El volumen recolectado correspondiente a la población tributaria del itinerario o a la población servida debe de ser inferior o igual a 12m³				
Satisface							2,634	Satisface				2.42
Población total				2,751								

Fuente: PhD. Edouard Jacotin



El cálculo de capacidad optima fue realizado para verificar el cumplimiento de la capacidad de recolección del vehículo propuesto. Obteniendo como resultado que el vehículo tiene la capacidad para realizar la recolección de residuos a la población servida calculada en San Juan de Limay.

#### 5.4.3. Proyección de población

**Tabla 8:** Proyección de población

<b>PROYECCIONES DE POBLACIÓN Y GENERACIÓN DE RESIDUOS CUATRO PERIODOS DE CINCO AÑOS CADA UNO, DEL AÑO 2019 AL 2038 DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY.</b>						
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
<b>Nº Año.</b>	<b>Tasa de cre./año (%)</b>	<b>Población proyectada (hab/año)</b>	<b>cobertura (%)</b>	<b>Población Servida (# hab)</b>	<b>PPC (Kg/Hab./ día)</b>	<b>Ds Generada (kg/día)</b>
		$E \times (1+D)^A$	(1.01 X F celda sup.	(Fx (G/100))	(1.01 X H celda sup.	( HxI)
	<b>0.29</b>	<b>5251</b>	<b>95</b>		<b>0.410</b>	
1	0.003	5,266	95.00	5,003	0.41	2,072
2	0.003	5,281	95.00	5,017	0.42	2,098
3	0.003	5,297	95.00	5,032	0.42	2,126
4	0.003	5,312	95.00	5,047	0.43	2,153
<b>5</b>	<b>0.003</b>	<b>5,328</b>	<b>95.00</b>	<b>5,061</b>	<b>0.43</b>	<b>2,181</b>
6	0.003	5,343	95.00	5,076	0.44	2,209
7	0.003	5,359	95.00	5,091	0.44	2,238
8	0.003	5,374	95.00	5,105	0.44	2,267
9	0.003	5,390	95.00	5,120	0.45	2,296
<b>10</b>	<b>0.003</b>	<b>5,405</b>	<b>95.00</b>	<b>5,135</b>	<b>0.45</b>	<b>2,326</b>
11	0.003	5,421	95.00	5,150	0.46	2,356
12	0.003	5,437	95.00	5,165	0.46	2,386
13	0.003	5,452	95.00	5,180	0.47	2,417
14	0.003	5,468	95.00	5,195	0.47	2,448

Proyección de población						
<b>15</b>	<b>0.003</b>	<b>5,484</b>	<b>95.00</b>	<b>5,210</b>	<b>0.48</b>	<b>2,480</b>
16	0.003	5,500	95.00	5,225	0.48	2,512
17	0.003	5,516	95.00	5,240	0.49	2,544
18	0.003	5,532	95.00	5,255	0.49	2,577
19	0.003	5,548	95.00	5,271	0.50	2,611
<b>20</b>	<b>0.003</b>	<b>5,564</b>	<b>95.00</b>	<b>5,286</b>	<b>0.50</b>	<b>2,644</b>

Fuente propia

A manera de cálculos, utilizando las informaciones de caracterizaciones disponibles sobre los residuos sólidos del municipio de San Juan de Limay, PPC, densidad suelta, Porcentaje de los componentes, así como los datos relacionados con la población total 5,251 habitantes, la tasa de crecimiento local 0.29 % anual (dato proporcionado por el MINSA) tomando en cuenta que se está trabajando el diseño para el casco urbano y el alto grado de migración en el municipio, la cobertura de recolección 95% se procedió a determinar tanto la población servida, así como la cantidad de residuos sólidos generados en el casco urbano del municipio, proyectados a 20 años presentados en la tabla N° 8.

## 5.5. Proceso de diseño para disposición final de residuos

### 5.5.1. Descripción de los resultados de la evaluación del sitio de disposición final de los desechos sólidos

**Tabla 9:** Evaluación de sitio para disposición de residuos sólidos

CONSIDERACIONES	VALORES GUIAS	VALORES REALES	CUMPLIM.D E VALORES	% DE CUMPL. Y GUIA	PUNTAJE
Distancia del perímetro urbano 500 m	>500	4 Km.	Si	100%	4

Evaluación de sitio para disposición de residuos sólidos					
<b>Tiempo de traslado del centro urbano al sitio del R. Sanitario</b>	<30 min.	10 min.	Si	100%	4
<b>Ubicación con respecto a los vientos</b>	Sotavento	Si	Si	100%	4
<b>Protección a los Recursos Naturales</b>	Condicione s Ambientale s	Si	Si	100%	4
<b>Alejado de las fuentes de agua superficiales.</b>	> 150 mts.	Si	Si	100%	4
<b>Profundidad del manto freático</b>	> 10mts.	10mts.	Si	100%	4
<b>Coeficiente de permeabilidad bajo</b>	2.1x10 <sup>-3</sup> cm. /seg.	1x10 <sup>-3</sup> Cm. /seg.	Si	50%	3
<b>Compatibilidad con el desarrollo urbano</b>	Si	Si	Si	100%	4
<b>Vida Útil</b>	> 10 años	20 años	Si	100%	4
<b>Cercanía material del de cobertura</b>	Dentro del terreno	Se localiza en el sitio	Si	100%	4
<b>Propiedades material del de cobertura</b>	Arcilloso arenoso	Arcilloso arenoso	Si	100%	4
<b>Pendiente promedio mínima del T. Natural</b>	1%	1 %	Si	100%	4
<b>Costos y proceso de adquisición del terreno (tenencia)</b>	Propiedad de Alcaldía	Propiedad de la Alcaldía	Si	100%	4
<b>Total</b>					<b>51</b>

Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

El sitio adquirido está ubicado a 4 kilómetros del centro del municipio, por lo tanto, el sitio cumple con el parámetro distancias mayor de 500 metros para desarrollar dicho proyecto.

El sitio describe una pendiente de terreno natural entre 1 al 3% Se estimó que la pendiente existente en la primera parte partiendo de la zona noroeste y que abarca el 74% del terreno sea suficiente para lograr la canalización del drenaje pluvial y del líquido percolado lixiviados, este último hacia los canales de recolección que lo conducirán hacia la planta de tratamiento. Según observaciones realizadas in situ en el terreno y los resultados topográficos, se considera que en la segunda parte del terreno donde se encuentra a un nivel de 292.3 msnm, sea apta para construir el sistema de tratamiento de los lixiviados.

### 5.5.2. Calculo de área requerida

**Tabla 10:** Calculo de áreas requeridas para el relleno sanitario

DETERMINACIÓN DE ÁREAS Y VOLÚMENES REQUERIDOS RELLENO DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY						
BASE DE DATOS PARA DIMENSIONAR RSM						PLANIFICACIÓN DE LA GEOMETRÍA CONSTRUCTIVA DEL RELLENO SANITARIO PROYECTADA A 20 AÑOS.
	De ns. DS Co mp . (D DS c)	<i>Kg/ 450 m<sup>3</sup></i>		<i>20 %</i>		<i>65 %</i>
			Material de cobertura		Areas obras auxil.	
		0.00 2		1.20		1. 7

Calculo de áreas requeridas para el relleno sanitario

De ns. DS Est ab (D DS e)	<i>Kg/ m<sup>3</sup></i> <b>650</b>	Profundid ad RSM h	<b>8</b> m	Ancho medio RS, Talud 1/2	<b>12</b> m
	<i>0.00 2</i>		<i>0.12 5</i> m		<i>35 0</i> <i>0.08 3</i>
		Area disponible	<b>0.91</b> hectáreas		<b>1. 29</b> Mzn

(Contemplando 95% de los desechos generados y recolectados a ser depositado en el RSM)

No	DS p=	DS <sub>p/</sub> año	DS <sub>p/</sub> año	VD Ss d	VD Ssa c	VD Se d	VD Sea	VR Sea	VR SEa c	A RS ef	A R Se	A R St	A R St	Larg o =	Anc ho sup erf.	An ch o ba se Inf y su pe r.	Larg o supe rfici al	La rg o ba se Inf y su pe r.	AR Se (Su perf .)	AR Se (Su perf .)	AR St (Su perf .)	AR St (Su perf .)
	(kg /dí a)	(ton /año )	(ton /año )	(m 3/d )	(m3 /año )	(m 3/d )	(m3 /año )	(m3 /año )	(m3 /año )	(m 2)	(H a)	( m 2)	(H a)	V/(ax h) (m)	(m)	(m )	(m)	(m )	(m2 )	(Ha)	(m2 )	(Ha)

Calculo de áreas requeridas para el relleno sanitario

1	207 2	756	756	4.6 0	168 0	3.1 9	116 3	139 6	139 6	17 5	0. 02	28 8	0. 03	15	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
2	209 8	766	152 2	4.6 6	170 2	3.2 3	117 8	141 4	281 0	17 7	0. 02	29 2	0. 03	15	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
3	212 6	776	229 8	4.7 2	172 4	3.2 7	119 4	143 2	424 2	17 9	0. 02	29 5	0. 03	15	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
4	215 3	786	308 4	4.7 8	174 6	3.3 1	120 9	145 1	569 3	18 1	0. 02	29 9	0. 03	15	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
5	218 1	796	388 0	4.8 5	176 9	3.3 6	122 5	147 0	716 3	18 4	0. 02	30 3	0. 03	15	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
6	220 9	806	468 6	4.9 1	179 2	3.4 0	124 1	148 9	865 2	18 6	0. 02	30 7	0. 03	16	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
7	223 8	817	550 3	4.9 7	181 5	3.4 4	125 7	150 8	101 59	18 8	0. 02	31 1	0. 03	16	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
8	226 7	827	633 0	5.0 4	183 8	3.4 9	127 3	152 7	116 87	19 1	0. 02	31 5	0. 03	16	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
9	229 6	838	716 8	5.1 0	186 2	3.5 3	128 9	154 7	132 34	19 3	0. 02	31 9	0. 03	16	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
10	232 6	849	801 7	5.1 7	188 6	3.5 8	130 6	156 7	148 01	19 6	0. 02	32 3	0. 03	16	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
11	235 6	860	887 7	5.2 3	191 1	3.6 2	132 3	158 7	163 88	19 8	0. 02	32 7	0. 03	17	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
12	238 6	871	974 8	5.3 0	193 5	3.6 7	134 0	160 8	179 96	20 1	0. 02	33 2	0. 03	17	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
13	241 7	882	106 30	5.3 7	196 0	3.7 2	135 7	162 9	196 25	20 4	0. 02	33 6	0. 03	17	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
14	244 8	894	115 24	5.4 4	198 6	3.7 7	137 5	165 0	212 75	20 6	0. 02	34 0	0. 03	17	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
15	248 0	905	124 29	5.5 1	201 1	3.8 2	139 3	167 1	229 46	20 9	0. 02	34 5	0. 03	17	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86

16	251 2	917	133 46	5.5 8	203 7	3.8 6	141 1	169 3	246 38	21 2	0. 02	34 9	0. 03	18	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
17	254 4	929	142 75	5.6 5	206 4	3.9 1	142 9	171 5	263 53	21 4	0. 02	35 4	0. 04	18	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
18	257 7	941	152 15	5.7 3	209 1	3.9 7	144 7	173 7	280 90	21 7	0. 02	35 8	0. 04	18	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
19	261 1	953	161 68	5.8 0	211 8	4.0 2	146 6	175 9	298 49	22 0	0. 02	36 3	0. 04	18	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
20	264 4	965	171 33	5.8 8	214 5	4.0 7	148 5	178 2	316 31	22 3	0. 02	36 8	0. 04	19	12.0 0	8.4 0	19.4 7	15. 72	234	0.02	386	0.03 86
To t.	469 41	171 33	964 53		380 74		191 21	316 31		39 54	0. 40	65 24	0. 65						467 4	0.47	771 2	0.77
Pr om .	246 4	900	906 1	5.4 8	199 9	3.7 9	138 4	166 1	167 28	20 8	0. 02	65 2	0. 03						234	0.02	386	0.04
														16	Sati sfac e			(H ect .)	Sati sfac e		1.09	(Mz na)
Ancho y Longitud promedios constructivos de las areas de disposición final de los Residuos Solidos.															12	8	19	16				

Fuente: PhD. Eduarda Jacotin

Tal como se puede observar en la **tabla No 10**, las áreas y volúmenes requeridos determinados para la disposición final de los residuos sólidos generados en el municipio de San Juan de Limay, así como para la construcción de las obras auxiliares que exigen el referido sitio, se encuentra verificada. Es decir, si las áreas disponibles con levantamientos topográficos son suficientes para el relleno sanitario.

Las áreas corresponden a 0.77 Hectáreas correspondiente a 1.09 mz, satisface la demanda de áreas requeridas, incluyendo las áreas para obras auxiliares. Basado en los resultados de la Hoja de cálculos No 1, los cálculos no superan el área disponible topográficamente para la construcción del relleno sanitaria para un periodo de 20 años.

Se propone un área de 192m<sup>2</sup> de superficie con 1m de profundidad para separación de residuos sólidos previo a la disposición de estos en el relleno sanitario.

### 5.5.3. Tiempo de maquinaria requerido por zanja

$$T_{req} = \frac{Vz}{R * J}$$

Donde:

T<sub>req</sub>: Tiempo de maquinaria requerido

Vz: volumen de la zanja m<sup>3</sup>

R: rendimiento de excavación del equipo m<sup>3</sup>

J: jornada de trabajo diario (hrs/día)

$$T_{req} = \frac{2,145m^3}{20m^3 / hora \times 10 horas día} = 10.725 \approx 11 \text{ días}$$



#### 5.5.4. Dimensionamiento de celda diaria

Para el primer año se tiene una cantidad de recolección de desechos sólidos diaria de 2,072 Kg. siendo el porcentaje de cobertura de recolección proyectado y planificado de 95%. Por otro lado, considerando una frecuencia de dos veces por semana se tiene 2,072 Kg. x 7 días = 14,504 Kg/ semana, valor que se tomó como base para calcular la dimensión de la celda de operación del día de operación del relleno sanitario (o día laborable).

##### 5.5.4.1. Cantidad volumétrico de residuos sólidos por día laborable en el relleno

$$V_z = \frac{D_{sp} * M.C}{D_{dsm}}$$

Donde:

V<sub>z</sub>: Volumen de la zanja por día operacional (m<sup>3</sup>).

D<sub>sp</sub>: Cantidad de RSM recolectados (kg/día).

M.C: Material de cobertura (20 del volumen compactado).

D<sub>dsm</sub>: Densidad de los desechos sólidos en el relleno (kg/m<sup>3</sup>).

$$V_z = \frac{14,504 \text{ Kgs} / \text{semana} (1.20)}{450 \text{ Kgs} / \text{m}^3} = \frac{38.67 \text{ m}^3}{\text{dia} / \text{laboral}}$$

##### Largo

$$L = \frac{V_z}{a * h}$$

Donde:

L: Largo o longitud de la zanja (m).

V<sub>z</sub>: Volumen de la celda diaria (m<sup>3</sup>).

a: Ancho (m).

h: Profundidad o altura (m).

Altura = 0.8 m      Ancho = 5 m

$$\text{Largo} = \frac{38.67 \text{ m}^3}{(0.8 \text{ m}) \times (5 \text{ m})} = 9.66 \text{ m}$$

Las dimensiones de la celda serán:

Alto = 0.8 m, Ancho = 5 m, largo 9.66 m.

Alto efectivo = 0.80 m de desechos compactados

0.20 m de material de cobertura compactado

#### **5.5.4. Criterios de diseño del perfil del relleno sanitario.**

Para un adecuado control de los sub productos de los residuos sólidos es preciso de un buen diseño, una buena construcción, un adecuado proceso de operación y mantenimiento del sistema en su totalidad. Serán presentados enseguida algunos criterios claves, los cuales se han tomado en cuenta para lograr las metas prefijadas.

**Capa de barrera:** Tomando en cuenta las características de los lixiviados de los residuos sólidos peligrosos, para controlar y resistir al flujo vertical de los mencionados lixiviados formados en las capas anteriores, es recomendable una combinación de la capa de base que será constituida por:

- ✓ Una capa de material arcilloso, (10 cm. - 60 cm.) de baja permeabilidad debidamente compactada al 85% como mínimo.
- ✓ Una capa de material de Bentonita (un tipo de silicato) de entre 6mm - 10mm, de conductibilidad hidráulica (permeabilidad) del orden de  $1 \times 10^{-9}$ .

- ✓ Una capa de 40 cm. de material arcilloso de baja permeabilidad debidamente compactada al 85% como mínimo.

**Capa de drenaje:** Se usará una capa de materiales granulados medianos, de alta permeabilidad, por lo mismo de alta conductividad hidráulica, un mínimo de  $1 * 10^{-3}$  cm. /s. El espesor dicho a adoptarse, es recomendable que sea dentro 10 cm, con un espesor de 30 cm. Tendrá un triple papel que consiste en:

- ✓ Almacenar los lixiviados generados vía biodegradación e infiltrados a través de las capas anteriores y que constituye la zona no saturada.
- ✓ Aislar el canal de recolección de lixiviados de los efectos de infiltración y colmatación posterior del tubo perforado de drenaje (será detallado más abajo su criterio de diseño) ya que se encuentra colocada justamente en este extracto que limítrofe de la capa inferior de basura dispuesta.
- ✓ Drenar los lixiviados generados puesto que cuenta con la pendiente y la porosidad efectiva necesarias para realizar dicha función.

**Pendiente:** La pendiente lateral, coincidente tanto a la de la capa de drenaje lateral y del de la capa de barrera de fondo, será de un mínimo de 2%.

**Capas del relleno como tal:** Capas de residuos sólidos intercaladas (separadas las una de las otras) por capas de coberturas (intermedias) generalmente constituidas por suelos permeables de  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  cm. /seg. de velocidad de flujo de líquidos (lixiviados). Ambas capas, residuos sólidos y capas de cobertura intermedias deben ser debidamente compactado para el adecuado control de flujo de los lixiviados. La dimensión de las mencionadas capas son 80% y 20% de 1 metro correspondiente a las capas de los residuos sólidos y del material de cobertura y en este mismo orden

### Capas de control de flujo:

**Semibarrera:** Para el cierre de operación de cada trinchera es recomendable que sea colocada y compactada una capa de semibarrera que sirva de control y distribuidora del volumen de entrada, permitiendo así atraso de flujo por ende sobresaturación de la capa directamente superior a ella, creando así condiciones de flujos superficial y sub-superficial por un lado, y por otra parte almacena cantidad considerable de agua disponible a ser transportada por evaporación en la medida en que la capa superficial tenga las características de cobertura vegetal y de textura que faciliten tal fenómeno. Esta capa tendrá un espesor de 50 cm.

**Capa de cobertura final:** Conformada por un suelo cuya textura, pendiente y la calidad vegetación la atribuyen un coeficiente que permita a la vez una fácil absorción, saturación y una salida razonable de agua hacia las zonas perimetrales de la trinchera. La textura y la vegetación deben de ser tales que liberen aguas bajo efectos de radiación solar, jugando así un papel de facilitador de salida de aguas por evapotranspiración. El espesor de esta última tendrá un espesor de 30 cm.

#### 5.5.4. Drenaje pluvial

##### 5.5.4.1. Cálculo de coeficiente de escorrentía

**Tabla 11:** Factores para el cálculo de coeficiente de escorrentía

<b>Uso del suelo</b>	<b>us</b>
Vegetación densa	0.04
Maleza, arbustos, parques, cementerios	0.06
Sin vegetación o cultivos	0.1
Zonas sub-urbanas	0.2
Casco urbano	0.3-0.5
<b>Tipo de suelo</b>	<b>Ts</b>
Permeable	1

Factores para el cálculo de coeficiente de escorrentía	
Semipermeable	1.25
Impermeable	1.5
<b>Pendiente del terreno %</b>	<b>%</b>
0-3	1
3.1-5	1.5
5.1-10	2
10.1-20	2.5

Fuente: (Gutierrez Zarruk & Pereira Cardenal, 2004)

Fórmula:

$$C = us \cdot ts \cdot ps$$

$$C = 0.1 \cdot 1.25 \cdot 1 = 0.125$$

#### 5.5.4.2. Drenaje perimetral externo

**Tabla 12:** Caudal de diseño para canal perimetral externo

<b>CALCULO DE CAUDAL DE DISEÑO DE CANAL PERIMETRAL PARA EL DRENAJE PLUVIAL DEL RELLENO SANITARIO DEL MUNICIPIO SAN JUAN DE LIMAY</b>												
Tr in .	Area Tribut.		CEsc .	% Pe nd	P. Ret n	Dur ac.	Inte nsid ad.	Caudal Q = C I A			Sum a Q	
Ar ea	m²	pie²	C	S	T (años)	Td (min)	i (pul g/hr)	(pie ³/se g)	(m³/ seg )	(lt/ se g)	Qd (pie³ /seg )	
0			0.125	20	50	80	7.00				1.69 01	
1	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86		
2	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86		
3	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86		
4	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86		

Caudal de diseño para canal perimetral externo										
5	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86
6	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86
7	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86
8	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86
9	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86
10	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86
11	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86
12	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86
13	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86
14	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86
15	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86
16	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86
17	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86
18	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86
19	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86
20	7752	83441	0.125	20	50	80	7.00	1.6 90	0.04 79	47. 86
<b>Caudal I Acumulado =</b>										
<b>33.80</b>										
<b>pie<sup>3</sup> /se g</b>										
<b>95 7.1 8</b>										
<b>lt/se g</b>										

Fuente propia

**Tabla 13:** Diseño de canal para drenaje pluvial externo

CALCULO Y DISEÑO DE CANAL PERIMETRAL														
PARA EL DRENAJE PLUVIAL DEL RELLENO SANITARIO DEL MUNICIPIO SAN JUAN DE LIMAY														
	<b>Qd</b>	<b>n</b> Man.	<b>Vel</b>	P.T al.	Radi o Hid.	Area moj.	Peri m moj.	Tiran te teori co	Base teori co	Ecuac ión	Tiran te real cana l	Base inf. Real Canal	Altura real canal	Base sup. Real canal
	pie <sup>3</sup> /s eg		pie/s eg	<b>Z</b>	R(pi es)	<b>A</b> pies <sup>2</sup> )	<b>P</b> (pie s)	<b>y</b> (pie s)	<b>b</b> (pie s)	<b>0 &lt; Ec</b> < 1	<b>y</b> (cm )	<b>b</b> (cm)	<b>H</b> =1.3xy(c m)	T =Hx2 (cm)
Sección Canales Colectoras Perimetrales (SCCP)														
Seccion canal colector SCC (abarca Areas de 20 años	1.69	0.03 5	2.29	1.3	0.40 1	0.73 8	1.84 2	0.76 8	0.00 0	0.618	23.4 2	0.0	30	61

GEOMETRIA DE CANAL PERIMETRAL								RZON DE TALUD DE CANAL PERIMETRAL EN LA CONSTRUCCION Y OPERACIÓN DEL R.S			
										L	D
1) SCCP: con $b = 0$ cm, $H = 30$ cm y $T = 61$ cm ,								Con Talud relacion		2.00	0.50



Fuente propia

Los cálculos de drenaje pluvial se realizaron en el programa Microsoft Excel, tomando valores de coeficiente de manning 0.35, puesto que el suelo donde se realizará el relleno sanitario es rocoso, una velocidad de flujo de 2.29 (para suelos arenosos), obteniendo como resultado un canal triangular para drenaje de las aguas pluviales.



### 5.5.4.3. Drenaje pluvial interno

**Tabla 14:** Caudales de diseño para drenaje pluvial interno

<b>CALCULO DE LOS CAUDALES DE DISEÑO DE CADA TRINCHERA PARA EL DRENAJE PLUVIAL DEL RELLENO SANITARIO DEL MUNICIPIO SAN JUAN DE LIMAY</b>												
	Tri n .	Area Tribut.		CE sc.	% Pe nd	P. Retn	Dura c.	Inte nsid ad.	Caudal Q = C I A			Su ma Q
	Are a	m <sup>2</sup>	pie <sup>2</sup>	C	S	T (año s)	Td (min )	i (pul g/hr)	(pie <sup>3</sup> /se g)	(m <sup>3</sup> /seg)	(lt/ se g)	Qd (pie <sup>3</sup> /se g)
	0			0.1 25	20	50	20	7.00				
<b>Sección canal colector etapa 1, (SCCE1) (abarca Áreas de 4 años)</b>	1	21 1	2266	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 46	0.00 13	1. 30	<b>0.1 865</b>
	2	21 3	2290	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 46	0.00 13	1. 31	
	3	21 5	2315	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 47	0.00 13	1. 33	
	4	21 7	2340	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 47	0.00 13	1. 34	
<b>Sección canal colector etapa 2, (SCCE2) (abarca Áreas de 3 años)</b>	5	22 0	2365	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 48	0.00 14	1. 36	<b>0.1 453</b>
	6	22 2	2390	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 48	0.00 14	1. 37	
	7	22 4	2416	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 49	0.00 14	1. 39	
<b>Sección canal colector etapa 3, (SCCE3) (abarca Áreas de 3 años)</b>	8	22 7	2442	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 49	0.00 14	1. 40	<b>0.1 500</b>
	9	22 9	2469	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 50	0.00 14	1. 42	
	10	23 2	2496	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 51	0.00 14	1. 43	
<b>Sección canal colector etapa 4, (SCCE4)</b>	11	23 4	2523	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 51	0.00 14	1. 45	<b>0.1 550</b>
	12	23 7	2551	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 52	0.00 15	1. 46	

(abarca Áreas de 3 años)	Caudales de diseño para drenaje pluvial interno											
	13	24 0	2579	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 52	0.00 15	1. 48	
Sección canal colector etapa 5, (SCCE5) (abarca Áreas de 5 años)	14	24 2	2607	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 53	0.00 15	1. 50	0.2 699
	15	24 5	2636	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 53	0.00 15	1. 51	
	16	24 8	2665	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 54	0.00 15	1. 53	
	17	25 0	2694	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 55	0.00 15	1. 55	
	18	25 3	2724	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 55	0.00 16	1. 56	
	19	25 6	2754	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 56	0.00 16	1. 58	
Sección canal colector etapa 6, (SCCE6) (abarca Áreas de 2 años)	20	25 9	2785	0.1 25	20	50	20	7.00	0.0 56	0.00 16	1. 60	0.1 122
<div>Caudal Acumulado =</div> <div>1.02</div> <div>pie<sup>3</sup>/ s</div> <div>28.85</div> <div>lt/s</div>												

Fuente propia

Tabla de resultados, dimensiones de canal perimetral

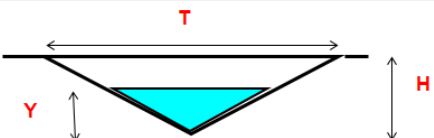
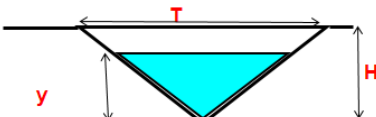
<b>CALCULO Y DISEÑO DE LOS CANALES SECUNDARIOS Y LAS COLECTORAS PRINCIPALES PARA EL DRENAJE PLUVIAL DEL RELLENO SANITARIO DEL MUNICIPIO SAN JUAN DE LIMAY</b>														
	<b>Qd</b>  pie <sup>3</sup> / seg	<b>n</b> Ma n.	<b>Vel</b>  pie/ seg	<b>P. Ta l.</b>  <b>Z</b>	<b>Radi o Hid.</b>  <b>R(pi es)</b>	<b>Area moj.</b>  <b>A</b> pies <sup>2</sup> )	<b>Perim moj.</b>  <b>P(pies)</b>	<b>Tirant e teoric o</b>  <b>y(pies )</b>	<b>Base teoric o</b>  <b>b(pies )</b>	<b>Ecuaci ón</b>  <b>0 &lt; Ec &lt; 1</b>	<b>Tirante real canal</b>  <b>y(cm)</b>	<b>Base inf. Real Canal</b>  <b>b(cm)</b>	<b>Altura real canal</b>  <b>H</b> =1.3xy(c m)	<b>Base sup. Real canal</b>  <b>T =Hx2 (cm)</b>
<b>Sección Canales Colectoras Perimetrales (SCCP)</b>														
<b>SCC P1</b>	<b>0.19</b>	<b>0.0 35</b>	<b>2.2 9</b>	<b>1. 5</b>	<b>0.29 1</b>	<b>0.081</b>	<b>0.280</b>	<b>0.233</b>	<b>0.000</b>	<b>0.560</b>	<b>7.10</b>	<b>0.0</b>	<b>9</b>	<b>18</b>
<b>SCC P2</b>	<b>0.15</b>	<b>0.0 35</b>	<b>2.2 9</b>	<b>1. 5</b>	<b>0.29 1</b>	<b>0.063</b>	<b>0.218</b>	<b>0.206</b>	<b>0.000</b>	<b>0.524</b>	<b>6.27</b>	<b>0.0</b>	<b>8</b>	<b>16</b>
<b>SCC P3</b>	<b>0.15</b>	<b>0.0 35</b>	<b>2.2 9</b>	<b>1. 5</b>	<b>0.29 1</b>	<b>0.066</b>	<b>0.225</b>	<b>0.209</b>	<b>0.000</b>	<b>0.528</b>	<b>6.37</b>	<b>0.0</b>	<b>8</b>	<b>17</b>
<b>SCC P4</b>	<b>0.16</b>	<b>0.0 35</b>	<b>2.2 9</b>	<b>1. 5</b>	<b>0.29 1</b>	<b>0.068</b>	<b>0.233</b>	<b>0.212</b>	<b>0.000</b>	<b>0.533</b>	<b>6.47</b>	<b>0.0</b>	<b>8</b>	<b>17</b>
<b>SCC P5</b>	<b>0.27</b>	<b>0.0 35</b>	<b>2.2 9</b>	<b>1. 5</b>	<b>0.29 1</b>	<b>0.118</b>	<b>0.405</b>	<b>0.280</b>	<b>0.000</b>	<b>0.606</b>	<b>8.54</b>	<b>0.0</b>	<b>11</b>	<b>22</b>
<b>SCC P6</b>	<b>0.11</b>	<b>0.0 35</b>	<b>2.2 9</b>	<b>1. 5</b>	<b>0.29 1</b>	<b>0.049</b>	<b>0.168</b>	<b>0.181</b>	<b>0.000</b>	<b>0.483</b>	<b>5.51</b>	<b>0.0</b>	<b>7</b>	<b>14</b>
<b>Sección Canales Colectores Secundarios Tramo (SCCS)</b>														
<b>SCC S</b>	<b>0.33</b>	<b>0.0 35</b>	<b>2.2 9</b>	<b>1. 5</b>	<b>0.29 1</b>	<b>0.145</b>	<b>0.498</b>	<b>0.311</b>	<b>0.000</b>	<b>0.623</b>	<b>9.47</b>	<b>0.0</b>	<b>12</b>	<b>25</b>

tramo 1														
Tabla de resultados, dimensiones de canal perimetral														
<b>CALCULO Y DISEÑO DE LOS CANALES SECUNDARIOS Y LAS COLECTORAS PRINCIPALES</b>														
SCC S tramo 2	0.64	0.035	2.29	1.5	0.291	0.278	0.955	0.431	0.000	0.597	13.12	0.0	17	34
SCC S tramo 3	0.91	0.035	2.29	1.5	0.291	0.396	1.360	0.514	0.000	0.492	15.66	0.0	20	41
SCC S tramo 4	1.02	0.035	2.29	1.5	0.291	0.445	1.529	0.545	0.000	0.435	16.60	0.0	22	43
<b>Sección Canales Colectores Principales (SCCP)</b>														
SCC P	0.907	0.035	2.00	1.0	0.470	0.453	0.965	0.673	0.000	0.939	20.52	0.0	27	53

Fuente propia

**Tabla 15:** Diseño de canal para drenaje pluvial interno

GEOMETRIA DE LOS CANALES DE CADA FASE DE CONSTRUCCION Y OPERACIÓN DEL R.S.								RZON DE TALUD DE LOS CANALES DE CADA FASE DE CONSTRUCCION Y OPERACIÓN DEL R.S			
										L	D
1) SCCP1: con b = 0 cm, H =9 cm y T =18 cm ,								Con Talud relacion		2.00	0.50
2) SCCP2: con b = 0cm, H =8 cm y T = 16 cm y								Con Talud relacion		2.00	0.50
3) SCCP3: con b = 0 cm, H =8 cm y T = 17 cm								Con Talud relacion		2.00	0.50
3) SCCP4: con b = 0 cm, H=8 cm y T = 17 cm								Con Talud relacion		2.00	0.50
3) SCCP5: con b = 0 cm, H=11 cm y T = 22 cm								Con Talud relacion		2.00	0.50
3) SCCP6: con b = 0 cm, H=7 cm y T = 14 cm								Con Talud relacion		2.00	0.50
1)SCCSTramo 1 : con b = 0 cm, H =12 cm y T =25 cm								Con Talud relacion		2.00	0.50
2)SCCSTramo 2 con b = 0 cm, H =17 cm y T =34 cm								Con Talud relacion		2.00	0.50
3)SCCSTramo 3 : con b = 0 cm, H =20 cm y T =41 cm								Con Talud relacion		2.00	0.50
3)SCCSTramo 4 : con b = 0 cm, H =22 cm y T =43 cm								Con Talud relacion		2.00	0.50
SCCPP : con b = 0 cm, H =27 cm y T =53 cm								Con Talud relacion		2.00	0.50

Canal triangular tipo para SCCP1, SCCP2, SCCP3, SCCP4, SCCP5,		Canales Colectoras Perimetrales.						
			SCCE1	SCCE2	SCCE3	SCCE4	SCCE5	SCCE6
			(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
		b =	0	0	0	0	0	0
		H =	9	8	8	8	11	7
		T =	18	16	17	17	22	14
Canal triangular tipo para SCCST1, SCCST2, SCCST3, SCCS4 Y SCCP		Canales Colectoras Secundarias (SCCS) y seccion canal colector principal (SCCP)						
			SCCST1	SCCST2	SCCST3	SCCST4	SCCP	
			(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	
		b =	0	0	0	0	0	
		H =	12	17	20	22	27	
		T =	25	34	41	43	53	

Fuente propia

### 5.5.5. Drenaje y tratamiento de lixiviados

**Tabla 16:** Parámetros de residuos sólidos San Juan de Limay

PARAMETROS	UNIDAD	VALORES
Potencial de Hidrógeno	pH	5
Alcalinidad Total	mg/l	259.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5)DBO <sub>5</sub>	mg/l	6500
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	7873.4
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	1,725
Sólidos Totales (ST)	mg/l	4596
Sólidos Totales Volátiles (STV)	mg/l	7,367
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)	mg/l	816.67
Sólidos Sedimentables (SSD)	mL/l	8
Nitrógeno Total	mg/l	133.28

Fuente: laboratorios (PIENSA-UNI)

Con esta información se puede concluir que los lixiviados provenientes del Relleno Sanitario del municipio del San Juan de Limay son susceptibles a ser tratados por métodos biológicos; quizás uno de los parámetros más importantes como criterio de diseño sea el porcentaje de sólidos volátiles con respecto a los sólidos totales, cuya relación  $STV/ST = 1.6$ , lo cual en conjunto con la DBO y DQO son indicadores de la cantidad de materia orgánica biodegradable en el afluente de lixiviados crudos.

#### 5.5.5.1. Volumen de Lixiviados método KPA

**A= 7,618 m<sup>2</sup>**, área efectiva del relleno correspondiente a 20 años considerando la opción de confinar 95% correspondientes mayoritariamente a las porciones orgánica e inorgánica.

**P**= 1246 mm = 1.25 metros

**K**= 35%

$$Q = \frac{1.25 \text{ m/año} \times 7.618 \text{ m}^2 \times 0.35}{1} = 3.333 \text{ m}^3/\text{año}$$

Dividiendo este valor entre el número de días lluviosos se obtiene:

$$Q = \frac{3.333 \text{ m}^3/\text{año}}{162 \text{ días/año}} = 20.57 \text{ m}^3/\text{día}$$

Considerando Q correspondientes al año promedio se tiene:

$$Q = 20.57 \text{ m}^3/\text{día}$$

#### 5.5.5.2. Volumen de lixiviado método PERC

**Tabla 17:** Método PERC para caudal de lixiviados

<b>CAUDAL Q DE LIXIVIADOS A PRODUCIRSE EN EL RELLENO SANITARIO DE SAN JUAN DE LIMAY, DURANTE EL PERIODO LLUVIOSO.</b>					
Tirante o profundidad de lixiviados/año		<b>0.228</b>			
Número de días lluviosos (días)		<b>162</b>		<b>0.0062</b>	
Tasa de incremento de lluvia anual (%)		<b>0.29</b>		<b>1.0029</b>	
100 % + increm. De P		<b>1.00</b>			
AÑOS	PELICULA ANUAL (m)	AREAS EFECTIVAS (m <sup>2</sup> )	VOLUMEN ANUAL (m <sup>3</sup> )	CAUDAL Mtdo.PERC (m <sup>3</sup> /día)	CAUDAL Mdl.PERC (m <sup>3</sup> /día)
2019	0.23	234	53.19	0.33	
2020	0.23	234	53.19	0.33	
2021	0.23	234	53.19	0.33	
2022	0.23	234	53.19	0.33	
2023	0.23	234	53.19	0.33	
2024	0.23	234	53.19	0.33	
2025	0.23	234	53.19	0.33	
2026	0.23	234	53.19	0.33	
2027	0.23	234	53.19	0.33	
2028	0.23	234	53.19	0.33	
2029	0.23	234	53.19	0.33	
2030	0.23	234	53.19	0.33	
2031	0.23	234	53.19	0.33	

Método PERC para caudal de lixiviados				
2032	0.23	234	53.19	0.33
2033	0.23	234	53.19	0.33
2034	0.23	234	53.19	0.33
2035	0.23	234	53.19	0.33
2036	0.23	234	53.19	0.33
2037	0.23	234	53.19	0.33
2038	0.23	234	53.19	0.33
Caudal de diseño Q STLIX				6.57

Fuente: PhD. Edouard Jacotin

### 5.5.5.3. Determinación del caudal de diseño

Tomando en cuenta de que los dos métodos arrojan valores de caudal con diferencias considerables, El primero el método aproximado KPA resultando un caudal de 20.57 m<sup>3</sup> y el segundo 6.57 m<sup>3</sup>, por lo tanto, se recomendó construir el sistema con el valor que resulta del segundo método, el método PERC por ser este el más preciso.

### 5.5.5.4. Drenaje y disposición de líquido percolado

Como el relleno estará protegido por un drenaje perimetral interceptor y la desviación de las aguas de escorrentía, obedeciendo a un promedio de precipitaciones normal anual. Los volúmenes de lixiviados deben de ser tomados en consideración. Por esta razón, se ha previsto la construcción de un canal interno de recolección de lixiviados provisto de un filtro ciego de piedra (Material de soporte microbiana) con el propósito de:

- 1 Propiciar un mayor proceso de biodegradación
- 2 Evacuar los lixiviados producidos y drenados internamente



Esto ayudará a que se reduzca la carga contaminante de los mencionados lixiviados antes de llegar al sistema en donde recibirán una mayor remoción de dicha carga.

#### 5.5.5.5. Diseño de red de lixiviados

**Tabla 18:** Base de datos para cálculo de red de lixiviados

<b>BASE DE DATOS Y CAUDALES DE DISEÑO DE REDES DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DE SAN JUAN DE LIMAY</b>											
FASE DE CONSTRUC. Y OPER.	NODO FASE DE RELLENO	NODO AREA DE RELLENO /AÑO	LONG. TRAMOS	LONG. TRAMOS ACUMULADAS	Q AREAS DE RELLENO	Q AREAS DE RELLENO	Q POR INFILTRACION	Q DISEÑO EN CADA NODO	Q CONCENTRADO EN CADA NODO	Elevac. Terreno o Nat.Aguas Arriba	Elevac. Terreno o Nat.Aguas Abajo
No	No	No	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> /día)	(l/seg)	(l/seg)	(l/seg)	(l/seg)	(m)	(m)
<b>I</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	19.47	19.474	0.33	0.003	0.002	0.005	0.005		
		<b>2</b>	19.47	38.949	0.33	0.003	0.002	0.005	0.011		
		<b>3</b>	19.47	58.423	0.33	0.003	0.002	0.005	0.016		
		<b>4</b>	19.47	77.898	0.33	0.003	0.002	0.005	0.021		
				194.744	1.31	0.013	0.008	0.021	0.053	<b>292.9</b>	<b>292.6</b>
<b>II</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	19.47	97.372	0.33	0.003	0.002	0.005	0.026		
		<b>2</b>	19.47	116.846	0.33	0.003	0.002	0.005	0.032		
		<b>3</b>	19.47	136.321	0.33	0.003	0.002	0.005	0.037		
				350.539	0.99	0.010	0.006	0.016	0.095	<b>292.7</b>	<b>292.4</b>
<b>III</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	19.47	155.795	0.33	0.003	0.002	0.005	0.042		
		<b>2</b>	19.47	175.270	0.33	0.003	0.002	0.005	0.048		

		Base de datos para cálculo de red de lixiviados									
		<b>3</b>	19.47	194.744	0.33	0.003	0.002	0.005	0.053		
				525.809	0.99	0.010	0.006	0.016	0.143	<b>292.9</b>	<b>292.7</b>
<b>IV</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	19.47	214.218	0.33	0.003	0.002	0.005	0.058		
		<b>2</b>	19.47	233.693	0.33	0.003	0.002	0.005	0.063		
		<b>3</b>	19.47	253.167	0.33	0.003	0.002	0.005	0.069		
				701.078	0.99	0.010	0.006	0.016	0.190	<b>292.8</b>	<b>292.7</b>
<b>V</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	19.47	272.641	0.33	0.003	0.002	0.005	0.074		
		<b>2</b>	19.47	292.116	0.33	0.003	0.002	0.005	0.079		
		<b>3</b>	19.47	311.590	0.33	0.003	0.002	0.005	0.085		
		<b>4</b>	19.47	331.065	0.33	0.003	0.002	0.005	0.090		
		<b>5</b>	19.47	350.539	0.33	0.003	0.002	0.005	0.095		
				1557.951	1.64	0.016	0.01	0.026	0.423	<b>293.2</b>	<b>292.7</b>
<b>VI</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	19.47	370.013	0.33	0.003	0.002	0.01	0.100		
		<b>2</b>	19.47	389.488	0.33	0.003	0.002	0.01	0.106		
				759.501	0.66	0.007	0.004	0.01	0.206	<b>292.9</b>	<b>292.4</b>
<b>TOTAL</b>			<b>389.48</b> <b>8</b>	<b>4089.622</b>	<b>5.9</b>	<b>0.07</b>	0.04	<b>0.106</b>	<b>1</b>		

Fuente propia

**Tabla 19:** Nodos para red de recolección de lixiviados

TABLA DE RESULTADOS DE LOS NODOS DE LA RED DE RECOLECCION EXTERNA DE LIXIVIADOA DEL RELLENO SANITARIO DE SAN JUAN DE LIMAY.			
Nodos	Caudal (Q)	Elevación corona Tubería	Profundidad de excav.

Nodos para red de recolección de lixiviados			
(#)	(lps)	(m)	(m)
1	0.053	292.9	1.60
2	0.095	292.7	1.61
3	0.143	292.9	1.62
4	0.190	292.8	1.63
5	0.423	293.2	1.65
6	0.206	292.9	1.66

Fuente propia

**Tabla 20:** Resultados de red de recolección de lixiviados

TABLA DE RESULTADOS DE LA RED DE RECOLECCION EXTERNA DE LIXIVIADOA DEL RELLENO SANITARIO DE SAN JUAN DE LIMAY.									
Tramos	Desde	hasta	Caudal (Q) pico	Long tramos	Diámetro tramos	Tirante de lix	vel, de flujo	Pendiente prom. Flujo	pendiente TN
(#)	(Nodo #)	(Nodo #)	(lps)	(m)	(pulg)	(pulg)	(m3/s)	(%)	(%)
1	1	2	0.053	19.47	4	0.208	0.3244	0.08	1.54
2	2	3	0.148	19.47	4	0.342	0.4431	0.08	1.54
3	3	4	0.291	19.47	4	0.472	0.5432	0.08	1.03
4	4	5	0.481	19.47	4	0.598	0.6313	0.08	0.51
5	5	6	0.903	19.47	4	0.8149	0.7605	0.08	2.57
6	6	7	1.110	19.47	4	0.9055	0.8077	0.08	2.57

TABLA DE RESULTADOS DE LOS PERFILES DE LA RED DE RECOLECCION EXTERNA DE LIXIVIADO DEL RELLENO SANITARIO DE SAN JUAN DE LIMAY.								
Tramos	ELEVACION TERENO NATURAL		ELEVACION CORONA TUB.		ELEVACION INVERT TUB.		PROFUN (h) EXCAV.	
	Aguas arb.	Aguas ab.	Aguas arb.	Aguas ab.	Aguas arb.	Aguas ab.	Aguas arb.	Aguas ab.
(#)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	292.9	292.6	291.39	290.80	291.3	290.7	1.602	1.90
2	292.7	292.4	291.18	290.59	291.1	290.5	1.612	1.91
3	292.9	292.7	291.38	290.98	291.3	290.9	1.622	1.82
4	292.8	292.7	291.26	291.07	291.2	291.0	1.627	1.73
5	293.2	292.7	291.64	290.65	291.5	290.6	1.647	2.15
6	292.9	292.4	293.00	290.34	292.9	290.2	1.662	2.16

Fuente propia

Las hojas de cálculo anteriormente presentadas, con una tubería de 4 pulg se pueden conducir los caudales de lixiviados generados en el año más húmedo, determinado según balance hídrico PERC para el año más húmedo, podemos decir que es suficiente con una tubería del diámetro antes señalado. Además, los tirantes o película de lixiviados que circulan en dicho diámetro están por debajo de 4 pulgadas, lo que proporciona un margen de seguridad por posibles atascamientos de la red.

Las pendientes de diseño, tal como indica cuadro de pendientes, se encuentran entre las pendientes máximas y las mínimas recomendadas por el manual de redes de alcantarillado (Empresas públicas de Medellín, 2009), por consiguiente la distribución actualmente existente de la red nos garantiza un funcionamiento hidráulico adecuado.

Las velocidades de diseño, están por debajo de la velocidad máxima recomendada, también todas se encuentran dentro del rango recomendado según (Empresas públicas de Medellín, 2009).

#### **5.5.5.6. Principios de funcionamiento del sistema de tratamiento**

El sistema de tratamiento de lixiviados propuesto es el de "Fosa séptica y filtro anaerobio de flujo ascendente", con el cual se han obtenido muy buenos resultados en el tratamiento de aguas residuales con alto contenido de DQO como las de rastros y de otras industrias. Se usará como tiempo de retención hidráulica 1 día.

La técnica del sistema "Fosa – Filtro" se basa en el principio natural, de que toda aquella sustancia orgánica susceptible a ser degradada por los microorganismos que se encuentran en la naturaleza, puede ser llevada a condiciones en las cuales estos mismos microorganismos realicen esta labor, pero con una mayor eficiencia y de tal forma que no se generen molestias a la población ni daños al medio ambiente.

#### **5.5.5.7. Calculo de fosa séptica**

**Formula :**  $V_1 = ((ST * Q * 0.7 * (1 - SSV) / 0.04) * T_R) / 10^9$  . Donde:

**V<sub>1</sub>:** Volumen útil destinado para almacenamiento de sólidos (M<sup>3</sup>)

**SSV:** Sólidos Suspendidos Volátiles (expresados como fracción de los SST mg/lit)

**SST:** Sólidos Suspendidos Totales (expresados como fracción de los ST.mg/lit)

**T<sub>R</sub>:** Tiempo de residencia de sólidos. (DIAS)

**V<sub>1</sub>=**  $((0.45 * 4,596 \text{ lt}) * 6,570 \text{ ts/día} * 0.7 * (1 - 0.30 / 0.04) * 162 \text{ días}) / 10^9$

**V<sub>1</sub> = 26.97 M<sup>3</sup>**

En tal caso, el volumen útil de la "fosa" será:

**Formula :**  $V_u = Q * T_{RH} + V_1$  . Donde:

$V_u$ = Volumen útil total de la "fosa séptica" ( $M^3$ )

$Q$ = caudal diario ( $M^3/día$ )

$TRH$ = Tiempo de Residencia Hidráulico (en días)

$$V_u = 6,57 * 0.58 \text{ días} + 26.97 \text{ M}^3$$

$$V_u = 30.71 \text{ M}^3$$

Para efecto del cálculo, el dimensionamiento del "Filtro anaerobio" se obtiene por la siguiente formula:

**Formula:**  $V_{uf} = 1.60 * Q * TRH$  , donde:

$V_{uf}$  = Volumen útil

$Q$ = Caudal ( $L^3/día$ )

$TR$ = Tiempo de Residencia Hidráulico

Sustituyendo se tiene:

$$V_{uf} = 1.60 * 6.57 \text{ M}^3/día * 0.62 \text{ días}$$

$$V_{uf} = 6.52 \text{ m}^3$$

**b)  $S = V/h$  donde:**

$S$  = Sección horizontal (superficie)

$V$ = Volumen

$h$  = Altura hidráulica de la FAFA = 2 m

Sustituyendo se tiene:

$$S = 6.52 \text{ m}^3 / 2 \text{ m} \quad S = 3.26 \text{ m}^2$$

#### 5.5.5.8. Dimensionamiento de los reactores

**Sedimentador Primario:** Con el volumen útil total encontrado  $V_u = 30,710$  litros, superior a 14,000 litros, volumen máxima recomendada por normas según (Guías

técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales) para que se diera una sedimentación óptima para un sedimentador primaria, tipo tanque séptico, por lo tanto se recomienda diseñar y construir una unidad de sedimentador primario (Tanque Séptico) de dos cámaras.

Considerando:

### 1. Profundidad útil del tanque séptico

$H = 1.80 \text{ m}$  (Propuesto libro alcantarillado sanit)

### 2. Ancho

$b = 3 \text{ m}$  (Propuesto)

Verificación de la dimensión de "b" según normativa

- Relación entre largo L y ancho b  $2 \leq L/b \leq 4$
- Ancho interno (b) = no mayor de 2 veces  $h_{\text{útil}}$

Sustituyendo en la ecuación: Volumen ( $\text{m}^3$ ) =  $L * b * H$

Tendremos:

$$V = 2b * b * h$$

$$V = 2b^2 * h$$

*Despejando tendremos la nueva ecuación:*

$$b = \sqrt{V/2H}$$

Sustituyendo tendremos

$$b = \sqrt{30.71/2 * 1.80} = 1.53 \text{ m}$$

*Sustituyendo tendremos:*

$$b = < 3.60h$$

**b = 1.53m** < 3.60m condición satisfecha.

### 3. Determinación de la longitud total L del tanque séptico

$$L = V/b \cdot H$$

Sustituyendo tendremos :  $L = 30.71 / 3 \times 1.80$

<b><math>L = 5.68\text{mts}</math></b>
--

Comprobación de relación

$$2 \leq l \leq 4$$

$$b$$

$2 \leq 3.71 \leq 4$  condición satisfecha

La fosa séptica se dividirá en dos cámaras que estarán separadas por una pantalla de hormigón armado, con aberturas para permitir el flujo de la primera a la segunda cámara, por lo cual se presenta su cálculo:

- Cálculo de la 1ª cámara:  $P_c = 2/3 L$   $P_c = 2/3 \cdot 5.68 = \mathbf{3.79 \text{ mts}}$
- Cálculo de la 2ª cámara:  $S_c = 1/3 L$   $S_c = 1/3 \cdot 5.68 = \mathbf{1.93 \text{ mts}}$

### Cálculo de aberturas en pantalla:

$$\text{Área transversal de la fosa} = b \cdot h = \mathbf{1.80\text{m} \cdot 3\text{m} = 5.40 \text{ m}^2}$$

$$\text{Se tomará el 5\% del área transversal} = 5.40 \cdot 0.05 = 0.27 \text{ m}^2$$

Se usará un diámetro de 6 pulg. Por efectos constructivos

- Área de  $\phi 6'' = \pi 0.15^2 / 4 = \mathbf{0.0177 \text{ m}^2}$
- N° de orificios =  $0.27 / 0.0177 = 15.25 \approx 15$  orificios de 6 pulgadas cada uno



**Determinación de la altura "h" del invert de los orificios constituidos por tubos de 6 pulgadas:**

$$h = 2/3 H \quad \text{Con } H = 1,80 \text{ m}$$

$$h = 2/3 \times 1.80 \text{ m} \quad h = 1.2 \text{ m}$$

El invert de los orificios quedaría a una distancia  $1.80 \text{ m} - 1.20 = 0.60$  sumergido.

Determinación de la velocidad de sedimentación de partículas de reactores del primer período.

Considerando:

Tamaño mínimo de partículas a remover = 0.1 mm.

$$(V_o = 8.00 \text{ mm / seg.}) = 0.0008 \text{ m/seg.}$$

$$\text{Velocidad de sedim.} = V = Q / A$$

A = área vertical a recorrer

$$A = b \times h$$

$$V = 0.00007604 / (3.00 \times 1.80) \text{ m}^2$$

$V = 0.000014 \text{ m/seg.} < 0.0008 \text{ m/seg.}$  Condición de velocidad de sedimentación satisfecha.

**Tabla 21:** Dimensiones de tanques sépticos del primer período

	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Capacidad (lts)
Primera cámara	<b>3.79</b>	<b>3.00</b>	<b>1.80</b>	<b>20,466</b>
Segunda cámara	<b>1.89</b>	<b>3.00</b>	<b>1.80</b>	<b>10,206</b>
				<b>30,672 (ok)</b>

Elaboración propia

Las dimensiones de largo y ancho del tanque séptico son definitivos para el sistema constructivo. Sin embargo, la profundidad calculada (1.80 m) corresponde a la altura útil a nivel de agua residual por lo que la altura total interna será 1.80 m + 0.4 m = 2.20 m. Los 40 cm adicionales se dejan como espacio donde se acumulan gases (metano, sulfuro, etc.) y natas (espumas).

### Diseño del filtro anaerobio:

Altura= 2 m. **Propuesto.**

Ancho= 3.00 m.

$$L = \frac{V_{\text{útil}}}{b * h} = \frac{30.71}{3 * 2} = 5.12$$

$L < 3h$ .

$L < 3$  (2 m)

$L < 6$  m

$L = 5.12 < 6$  m... Condición satisfecha

$V_{\text{util}} > 1,250$  lts.

30710 > 1,250 litros... Condición satisfecha

	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Capacidad (lts)
Cámara FAFA	<b>5.69</b>	<b>3.00</b>	<b>2.00</b>	<b>30,7260</b>

**Tabla 22:** Dimensiones del FAFA del primer período

Elaboración propia

Las dimensiones de largo y ancho del tanque Séptico son definitivos para el sistema constructivo. Sin embargo, la profundidad calculada (2) corresponde a la altura útil o nivel de agua residual por lo que la altura total interna será 1.85 + 0.40 = 2.40. Los 40 cm. adicionales se dejan como espacio donde se acumulan gases (metano, sulfuro, etc.) y natas (espumas).

## **5.6. Control del sistema de tratamiento**

### **5.6.1. Dispositivos de control y limpieza del sistema**

En todo tratamiento biológico la producción de "lodos" es inevitable. En los sistemas de tratamiento anaerobio ésta producción es mínima, sin embargo, es necesario disponer de dispositivos que permitan la evacuación de estos "lodos" en el momento que se considere apropiado para garantizar así el buen funcionamiento del sistema. Para tal efecto, en la "Fosa - Filtro" hemos propuesto la construcción un pozo de visita que permitirá cumplir convenientemente con estos requerimientos. Este pozo está dotado con tuberías de descarga que están conectadas al fondo de cada una de las secciones del sistema, lo cual permitirá obtener la mayor carga hidrostática disponible para el empuje del lodo que suele acumularse en el fondo; el lodo purgado podrá ser evacuado hasta la superficie del terreno a través de recipientes (baldes) atados con cuerdas; por esta razón hemos diseñado los pozos con el espacio suficiente para la manipulación de estos instrumentos. (1.20 mts. \* 1.20 mts.)

Para lograr la estabilidad de pozo, este será revestido con ladrillo cuarterón reforzados con una viga perimetral (15cms. \* 15cms.) ubicada a 1/3 de la distancia medida desde el fondo con el fin de contrarrestar el empuje del terreno. Además, este pozo deberá sobresalir 30 cm. por encima del nivel del terreno para evitar problemas de inundación debido a escorrentías superficiales.

### **5.6.2. Dispositivos de conducción y control de flujo**

En dependencia de las condiciones en que se realizará la operación del relleno sanitarios, las aguas residuales o lixiviados eventualmente pueden acarrear sólidos gruesos, que requieren de suficiente espacio para su transportación, debido a esta circunstancia se ha propuesto, para evitar problemas potenciales de obstrucción, la

utilización de tubería de 4" de diámetro para la conducción de los lixiviados desde el primer pozo de visita , el del punto más lejano y más alto en relación al sistema de tratamiento de los referidos lixiviados, hasta el sistema, por razones de orden económico y de flujo se recomienda la utilización de tubos de PVC. Esta tubería se ha dispuesto enterrada, partiendo de 1.50 mt. de profundidad.

### **5.6.3. Caja de distribución de flujo**

A la entrada del sistema fue diseñada dos cajas:

- una de acumulación de caudal debido a la misma topografía del terreno que ha inducido a que se fue enterrando la tubería a medida que se acerque al Sistema de Tratamiento de los Lixiviados y este último enterrado, pero a un nivel superior a lo del invert del último tramo de tubería de conducción de lixiviados. Eso obliga un proceso de construcción de un tanque acumulador de caudal de lixiviados hasta la caja de distribución de los referidos lixiviados al sistema de tratamiento, la cual garantiza una distribución equitativa del flujo hacía las dos tuberías de alimentación de la "Fosa", se decidió la utilización de tres tubos de alimentación para garantizar una mejor distribución del caudal a todo lo largo y ancho del sistema, procurando así una mejor eficiencia en el régimen de flujo. Se dispuso además de una línea de derivación convenientemente dotada de una compuerta tipo gaveta, con el fin de poder desviar las aguas en caso de que bajo cualquier circunstancia se decida sacar fuera de operación el sistema; ya sea porque se haya introducido alguna sustancia no deseada o por que se realizarán obras de reparación y mantenimiento.

### **5.6.4. Diseño estructural del sistema**

Toda la caja del sistema fue diseñada para la situación crítica, en la cual los muros se encuentran únicamente empotrados en la losa inferior, y sometidos a la carga del suelo (o sea vacíos). En esta situación los muros se comportan como una viga en voladizo sometida a una carga distribuida de manera característica como corresponde a la distribución de la carga de un suelo homogéneo. El análisis se

realizó por el "método de esfuerzos de trabajo" y utilizando las fórmulas y procedimientos que recomienda el American Concrete Institute (ACI) en el código publicado en 1977 bajo el título Building Code Requirements for Reinforced Concrete.

#### **5.6.5. Diseño del campo de eliminación horizontal para los efluentes finales de los lixiviados**

Según el estudio realizado, el suelo es areno arcilloso, el coeficiente de infiltración correspondiente a este tipo de estratificación combinada es de aproximadamente de 9.03 litros /m<sup>2</sup> /día.

Para el diseño se trabajará con una sección trapezoidal de 0.70 de base superior y 0.50 cm de base inferior, el canal trapezoidal no está diseñado con pendiente puesto que la energía ya existe en el sistema de tratamiento STILX, se colocará una capa de grava de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de 10 cm de espesor en el fondo del canal que sirve de base para la colocación de tubería.

Se utilizará tubería pvc perforado a  $\frac{1}{2}$  altura del diámetro de la tubería con varios hoyos taladrados de  $\frac{1}{4}$  de pulgadas a 2cm cada uno formando un arco que inicia de la mitad de la tubería hacia arriba y hasta el otro lado de la tubería.

Horizontalmente se perfora cada 10 cm, una vez perforado, ensamblado y colocada la tubería sobre el lecho de grava se tapa con un estrato tejido (papel alquitranado), de tal manera que los hoyos permitan la penetración del agua y evitar el paso de sólidos o tierras para no colmatar la segunda mitad de la tubería que sirve de canalización. Una vez terminado el proceso, se llena el canal de grava 10 cm sobre la sección de tubería perforada, el resto de altura del canal se rellena con tierra cultivable.

#### 5.6.5.1. Calculo del área de infiltración de tanque séptico y su respectivo FAFA

$$A=V/C$$

Donde:

V: volumen de lixiviados

C: coeficiente de ifiltracion

$$V=3,285 \text{ lt./día}$$

$$C=9.03 \text{ lt/m}^2/\text{dia}$$

Sustituyendo tenemos:

$$A= 3,285 \text{ lt /día} / 9.03 \text{ lt/m}^2/\text{dia}$$

$$A= 363.79 \text{ m}^2$$

Esta área de absorción encontrada, para su adecuada distribución será convertida en metros lineares de zanjas. Para eso se necesita tener claro el ancho de zanjas que se puede adoptar.

Las normas brasileñas recomiendan un ancho de zanja en un rango de 0,50 y 1,00. Por otra parte, aprovechando algunas experiencias logradas en México cuyo rango es 0,46 hasta 0,91, puede fijar el ancho de área de zanja a 0,70 m correspondiente a una área de absorción de  $0,70\text{m} \times 1 \text{ m} = 0.7 \text{ m}^2$ .

#### Calculo de longitud total de zanjas

$$L_z = A_t / a$$

Donde:

A<sub>t</sub>: area total

a: ancho de zanja

$$L_z = 363.79 \text{ m}^2 / 0,70 \text{ m}$$

$$L_z = 519.70 \text{ m}$$

Tomando en cuenta las normas brasileñas la longitud de cada tramo de zanja no debe rebasar 30 metros, por ende, se realizaron los cálculos tomando como base la longitud máxima.

#### **Cálculo de Número total de tramos ( $N_{Tz}$ )**

$$N_{Tz} = L_z / 30 \text{ m}$$

Donde

$L_z$ : longitud total de zanjas

$$N_{Tz} = 519.70 \text{ m} / 30 \text{ m}$$

$$N_{Tz} = 17.32 \cong 17 \text{ tramos de 30 metros cada uno.}$$

#### **Área requerida ( $Arq$ ):**

$$Arq = 2 \times N_{Tz} \times L_z = 2 \times 17 \times 0.70 \text{ m} \times 3 \times 519.70 \text{ m}$$

$$Arq = 2,182.74 \text{ m}^2$$

Si  $L_z = 30 \text{ m}$

$$az = Arq / L_z$$

Anchos tributarios de cada zanja ( $Ach Z$ ) es

$$Ach Z = 2,182.74 \text{ m}^2 / 30 \text{ m} = 72.76 \text{ m}$$

## 5.7. Cálculo de producción de metano en San Juan de Limay

**Tabla 23:** Producción de gases en San Juan de Limay

ESTIMACIÓN DE CANTIDAD POTENCIAL DE GASES METANO, DIÓXIDO DE CARBONO Y AMONIACO GENERADO Y/O EMITIDOS DURANTE EL PROCESO DE BIODEGRADACIÓN Y/O DE ESTABILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DISPUESTOS EN EL RELLENO SANITARIO EN SAN JUAN DE LIMAY										
BASE DE DATOS ( Residuos generados, Composición y tipos , peso húmedo , peso seco , COD Y FCM)										
CONCEPTOS Y COMPONENTES	(kg)	% Fácil y Difícil.	Kg Fácil y Difícil.	Total deposi- tados año  2000	MASA ATÓMICA DE LOS ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL COMPUESTO					
<b>Peso total RS húmedo</b>	56971 3.808 8				Car bon o	Hidr ógen o	Oxíge no	Nitró gen o	Azufr e	
Peso total Mat. Org. húm.Fac.Putresc.		0.90	512,74 2	Gigagr amos RSU	12.0 1	1.01	16	14.0 1	32.06	
Peso total Mat. Org. hum. Difíc. Putresc.		0.09	48,995							
Producción de gases en San Juan de Limay										
<b>Peso Fácilmente Putrescible</b>	<b>(kg)</b>	<b>%H um.</b>	<b>(kg)</b>	<b>0.57</b>						



Producción de gases en San Juan de Limay			
Residuos de comida	102548	0.70	71784
Papel/cartón	24498	0.04	980
Residuos de Jardín y fibra de madera	385696	0.60	231418
<b>SUB - TOTAL</b>	<b>512,742</b>		<b>72,764</b>
<b>Peso húmedo Difícilmente Putrescible</b>	<b>(kg)</b>	<b>%Hum.</b>	<b>(kg)</b>
Telas	3988	0.10	399
Madera	0	0.00	0
Hule	45007	0.08	3556
Cuero	0	0.00	
Residuos de Jardín , C.D	0	0.00	
<b>SUB - TOTAL</b>	<b>48,995</b>		<b>3,954</b>
<b>Peso Fácilmente Putrescible</b>	<b>%Seco</b>	<b>P. Seco (kg)</b>	<b>P.seco - P.Lign (kg)</b>
Residuos de comida	0.30	30765	23689

Resultados de Caracterización y de análisis físico-químicos de los Residuos Sólidos		
Componentes	(%) comp.	(%) Humedad
Res.Comida	18.00	70.00
Resto de jardín	67.70	60.00
Papel/cartón	4.30	4.00
Madera	0.00	0.00
Telas	0.70	10.00
Cuero	0.00	0.00
Hule	0.40	2.00
Plástico	7.50	2.00
Vidrio	0.20	2.00

Producción de gases en San Juan de Limay			
Papel/cartón	0.96	235 18	<b>18109</b>
Residuos de Jardín y fibra de madera	0.40	154 278	<b>11879 4</b>
<b>SUB - TOTAL</b>		<b>208, 561</b>	<b>160,59 2</b>
<b>Peso Difícilmente Putrescible</b>	<b>%Seco</b>	<b>P. Seco (kg)</b>	<b>P.seco - P.Lign (kg)</b>
Telas	0.90	358 9.20	<b>2764</b>
Madera	1.00	0.00	<b>0</b>
		414 51.8	
Hule	0.92	1	<b>31918</b>
Cuero	1.00	0.00	<b>0</b>
Residuos de Jardín , consistencia densa	1.00	0.00	<b>0</b>
<b>TOTAL</b>		<b>45,0 41</b>	<b>34,682</b>

Metal	1.10	3.00
Mat. de construcción	0.00	0.00
Tierra Y Otros	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>100</b>

Habitantes	Ud	5251
PPC	Kg/Hab/días	0.41
Cobertura Serv. Reco l.	%	0.95
FCM		0.9

DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD TOTAL TEORICA DEL GAS GENERADO POR PESO UNITARIO DE RESIDUOS SÓLIDOS		
<b>MATERIALES ORGANICOS</b> Basado en peso seco <b>FORMULA :</b> (m <sup>3</sup> de gas Fácilmente + Dfícilmente Putrescible) / ( kg de residuos sólidos Fácilmente + Dfícilmente Putrescible)		
Fácilmente putrescible	CH <sub>4</sub>	0.13
	CO <sub>2</sub>	0.19
	NH <sub>3</sub>	0.21
TOTAL		0.53
Difícilmente putrescible	CH <sub>4</sub>	0.30
	CO <sub>2</sub>	0.30
	NH <sub>3</sub>	0.01
TOTAL		0.61
<b>MATERIALES ORGANICOS</b> Basado en peso Húmedo <b>FORMULA :</b> (m <sup>3</sup> de gas Fácilmente + Dfícilmente Putrescible) / ( kg de residuos sólidos Fácilmente + Dfícilmente Putrescible)		
Fácilmente putrescible	CH <sub>4</sub>	0.05
	CO <sub>2</sub>	0.07
	NH <sub>3</sub>	0.08
Difícilmente putrescible	CH <sub>4</sub>	0.02
	CO <sub>2</sub>	0.02
	NH <sub>3</sub>	0.00
TOTAL		0.13
<b>MATERIALES ORGANICOS E INORGANICOS</b> Basado en peso Húmedo (m <sup>3</sup> de gas total / kg de residuos sólidos )		
Fácilmente putrescible Difícilmente putrescible No putrescible	CH <sub>4</sub>	0.07
	CO <sub>2</sub>	0.09
	NH <sub>3</sub>	0.08

Fuente: Edouard Jacotin

Determinar las concentraciones y el comportamiento de los compuestos emitidos en el biogás se constituye en un aporte para proveer información más precisa que permita establecer normas de calidad de aire y evaluar los problemas ambientales que puedan generar, además de incentivar a un adecuado manejo del relleno sanitario para evitar el deterioro al ambiente y la salud.

Se puede observar que el gas del relleno tiene una composición variable, se determinó el volumen de metano, dióxido de carbono y amoníaco, a través del análisis físico-químico de los residuos sólidos generados en el municipio de San Juan de Limay, calculando su peso húmedo a partir del porcentaje de humedad, para así ser clasificados en fácilmente y difícilmente putrescibles, dando a conocer el comportamiento proporcional anual de los gases producidos en base a la porción orgánica de los residuos sólidos generados. Se presenta también una ecuación resultante balanceada con la composición molar de los elementos químicos, así como la cantidad total teórica del gas generado por peso unitario de residuos sólidos.

La mayor proporción de gas generado es el metano  $\text{CH}_4$  con un 49.40%.

#### **5.7.1. Drenaje de gases**

Las chimeneas de gases serán construidas con tubos de PVC, SDR 41, de 12" de diámetro, perforado en toda su periferia y longitud con orificios de 1/2" de diámetro, separados entre sí por una distancia de 10 cm. en este caso se recomienda hacerlas con cuartones de madera de 3" x 2" y malla rellena con piedra de  $\varnothing 3/4$ ".

La elevación de las chimeneas sobre el acabado final del relleno sanitario no deberá ser menor de 30 cm, por lo que se tomará una distancia considerable de 1 m., terminando la tubería con dos codos que den al extremo la forma de U invertida. En la boca de la tubería deberá de colocarse una malla que evite la introducción de insectos y roedores.

La separación entre chimeneas no podrá ser mayor de 50 m, por lo que se colocarán dos en cada trinchera. Y deberá hacerse una buena compactación alrededor.

## 5.8. Presupuesto

**Tabla 24:** Cálculo de presupuesto para ejecutar el relleno sanitario en San Juan de Limay

Eta pa	Descripción	U/ M	Canti dad	Cost. Unit.	Cost. Total
<b>010</b>	<b>PRELIMINARES</b>				<b>C\$ 123,603.0 0</b>
001	Limpieza Inicial	M <sup>2</sup>	9070. 25	C\$ 4.00	C\$ 36,281.00
002	Construcciones Temporales	G bl	1.00	C\$ 5,000.00	C\$ 5,000.00
003	Remplanteo topográfico (Inc. Estaqueo)	M <sup>2</sup>	9070. 25	C\$ 8.00	C\$ 72,562.00
004	Niveletas Dobles	C/ U	16.00	C\$ 250.00	C\$ 4,000.00
005	Niveletas Sencillas	C/ U	32.00	C\$ 180.00	C\$ 5,760.00
<b>020</b>	<b>MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS</b>				<b>C\$ 60,000.00</b>
001	Movilizacion y Desmovilizacion de Equipos (Tractor D6, Retro Excavadora, Camion Volquete 12 N <sup>3</sup> )	G bl	1.00	C\$ 60,000.0 0	C\$ 60,000.00
<b>030</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRA</b>				<b>C\$ 2,665,554. 42</b>
001	Descapote de material vegetativo con equipo tractor sobre oruga D6	M <sup>2</sup>	9070. 25	C\$ 6.00	C\$ 54,421.50
002	Excavación en terreno natural para trincheras Dim = 19.47 m x 12.00 m, Desplante hasta H=4.00 mts	M <sup>3</sup>	25712 .40	C\$ 45.00	C\$ 1,157,058. 00
003	Carga de material de excavación a volquete con retroexcavadora	M <sup>3</sup>	28283 .64	C\$ 20.00	C\$ 565,672.8 0

Cálculo de presupuesto para ejecutar el relleno sanitario en San Juan de Limay					
004	Traslado de material sobrante de excavacion a 60 mts con camion volquete	M <sup>3</sup>	28283.64	C\$ 30.00	C\$ 848,509.20
005	Excavacion en Terreno Natural para Cunetas (Inc. Recolectora Secundaria, Primaria y Principal)	M <sup>3</sup>	185.28	C\$ 180.00	C\$ 33,350.40
006	Excavacion para Lixiviados	M <sup>3</sup>	13.25	C\$ 180.00	C\$ 2,385.00
007	Excavacion para Filtro anaerobio de flujo ascendente Dim= 3.00 m x 10.19 mts x 2 mts de Fondo con equipo	M <sup>3</sup>	61.14	C\$ 68.00	C\$ 4,157.52
<b>040</b>	<b>CERCO PERIMETRAL</b>				<b>C\$ 57,600.00</b>
001	Cerco Perimetral con Postes de Madera y Alambre de Pua N° 13, 4 hiladas	M	380.00	C\$ 120.00	C\$ 45,600.00
002	Porton de Constrol Tipo Aguja Tubo Φ 2", Inc. Pintura Tipo Trafico Cebrado Negro y Amarillo, Base de Concreto de 3,000 PSI	Gbl	1.00	C\$ 12,000.00	C\$ 12,000.00
<b>050</b>	<b>CASETA DE GUARDA</b>				<b>C\$ 183,857.42</b>
	<b>Fundaciones</b>				
001	Trazo y Nivelacion	M <sup>2</sup>	18.00	C\$ 4.00	C\$ 72.00
002	Niveletas Dobles	C/U	6.00	C\$ 250.00	C\$ 1,500.00
003	Excavacion Estructural	M <sup>3</sup>	3.14	C\$ 180.00	C\$ 565.20
004	Relleno y Compactacion	M <sup>3</sup>	2.50	C\$ 150.00	C\$ 375.00
005	Botar Material Sobrante de Excavacion	M <sup>3</sup>	0.70	C\$ 180.00	C\$ 126.72
006	Formaleta para Zapatas y Viga Asismica	M <sup>2</sup>	8.14	C\$ 350.00	C\$ 2,849.00
007	Acero Principal N° 3	Lbs	200.00	C\$ 22.00	C\$ 4,400.00
008	Acero de Ref. N° 2	Lbs	130.00	C\$ 20.00	C\$ 2,600.00
009	Alambre de Amarre	Lbs	50.00	C\$ 45.00	C\$ 2,250.00
010	Concreto Estructural para Fundaciones	M <sup>3</sup>	1.30	C\$ 6,500.00	C\$ 8,450.00

Cálculo de presupuesto para ejecutar el relleno sanitario en San Juan de Limay					
011	Curado de Concreto	G bl	1.00	C\$ 1,800.00	C\$ 1,800.00
	<b>Estructuras de Concreto</b>				
012	Formaleta para Vigas y Columnas	M²	2.50	C\$ 350.00	C\$ 875.00
013	Acero Principal N° 3	Lb s	250.0 0	C\$ 22.00	C\$ 5,500.00
014	Acero de Ref. N° 2	Lb s	180.0 0	C\$ 20.00	C\$ 3,600.00
015	Alambre de Amarre	Lb s	100.0 0	C\$ 45.00	C\$ 4,500.00
016	Concreto Estructural para Vigas y Columnas	M³	2.00	C\$ 6,500.00	C\$ 13,000.00
017	Curado de Concreto	G bl	1.00	C\$ 1,800.00	C\$ 1,800.00
	<b>Mamposteria</b>				
018	Pared de Mamposteria de Ladrillo Cuarteron Sisado	M²	47.40	C\$ 420.00	C\$ 19,908.00
	<b>Pisos</b>				
019	Cascote de Concreto 2,500 PSI, Esp= 0.07 mts	M²	18.40	C\$ 380.00	C\$ 6,992.00
020	Piso de Ceramica 30 cm x 30 cm	M²	18.40	C\$ 480.00	C\$ 8,832.00
	<b>Puertas y Ventanas</b>				
021	Puertas de Madera Solida de Color, Inc, Herraje, Marco e Instalcion	C/ U	2.00	C\$ 9,500.00	C\$ 19,000.00
022	Ventanas de Aluminio y Vidrio	M²	1.80	C\$ 1,450.00	C\$ 2,610.00
	<b>Techos</b>				
023	Estructuras Metalica para Techo (VM = 3" x 3" x 1/16 Estándar, Clavadores= 1 1/2" x 3" x 1/16 Estandar)	M²	29.25	C\$ 550.00	C\$ 16,087.50
024	Cubierta de Techo de Zinc Ondulado Estandar Cal 26	M²	29.25	C\$ 380.00	C\$ 11,115.00
	<b>Acabados</b>				
025	Fino Comun en Columnas de Concreto	M²	22.00	C\$ 280.00	C\$ 6,160.00
	<b>Electricidad</b>				
026	Canalizacion Tubo Conduit 1/2"	M	78.00	C\$ 60.00	C\$ 4,680.00
027	Suministro e Instalacion de Mufa (Inc. Conector EMT)	G bl	1.00	C\$ 1,200.00	C\$ 1,200.00

Cálculo de presupuesto para ejecutar el relleno sanitario en San Juan de Limay					
028	Suministro e Instalacion de Polo a Tierra (Varilla de Cobre 3/8" y Alambre N° 8)	C/ U	1.00	C\$ 650.00	C\$ 650.00
029	Suministro e Instalacion de Panel General 4 Espacios (Inc. Breakers)	C/ U	1.00	C\$ 2,800.00	C\$ 2,800.00
030	Suministro e Instalacion de Alambrado Electrico N° 12	M	300.0 0	C\$ 42.00	C\$ 12,600.00
031	Suministro e Instalacion de Tomacorrientes Dobles (Inc. Caja Metalica Pesada 2" x 4")	C/ U	2.00	C\$ 250.00	C\$ 500.00
032	Suministro e Instalacion de Apagadores Dobles (Inc. Caja Metalica Pesada 2" x 4")	C/ U	2.00	C\$ 250.00	C\$ 500.00
	<b>Hidrosanitario</b>				
033	Suministro e Instalacion de Tuberia de Agua Potable 1/2" Inc. Excavacion	M	18.00	C\$ 150.00	C\$ 2,700.00
034	Suministro e Instalacion de Accesorios PVC (Tee, Codo, Adaptadores, Conectores, Pegamento)	G bl	1.00	C\$ 350.00	C\$ 350.00
035	Suministro e Instalacion de Llave de Chorro	C/ U	2.00	C\$ 240.00	C\$ 480.00
036	Suministro e Instalacion de Aparato Sanitario Inodoro Inc. Accesorios	C/ U	1.00	C\$ 3,200.00	C\$ 3,200.00
037	Suministro e Instalacion de Aparato Sanitario Lavamanos, Inc. Accesorios	C/ U	1.00	C\$ 1,800.00	C\$ 1,800.00
038	Suministro e Instalacion de Tuberia Sanitaria 2" Inc. Excavacion	M	12.00	C\$ 240.00	C\$ 2,880.00
039	Suministro e Instalacion de Accesorios Sanitarios (Tee, Codos, Adaptadores)	G bl	1.00	C\$ 1,800.00	C\$ 1,800.00
	<b>Pintura</b>				
040	Pintura en Vigas y Columnas (Sur, Protecto, Modelo Esmalte)	M²	22.00	C\$ 125.00	C\$ 2,750.00
<b>060</b>	<b>Filtro anaerobio de Flujo Ascendente</b>				<b>C\$ 58,800.00</b>
001	Construccion de Filtro Anaerobico de Flujo Ascendente	G bl	1.00	C\$ 58,800.0 0	C\$ 58,800.00
<b>070</b>	<b>Obras Civiles</b>				<b>C\$ 1,092,852. 00</b>



Cálculo de presupuesto para ejecutar el relleno sanitario en San Juan de Limay					
001	Construccion de Cuneta Recolectora Principal	M	368.64	C\$ 1,800.00	C\$ 663,552.00
002	Construccion de Cuneta Recolectora Primaria	M	105.50	C\$ 1,600.00	C\$ 168,800.00
003	Construccion de Cuneta Recolectora Secundaria	M	143.50	C\$ 1,400.00	C\$ 200,900.00
004	Construccion de Conductor de Lixiviados (Inc. Chimenea y Coneccion a Filtro)	M	20.50	C\$ 1,200.00	C\$ 24,600.00
005	Construcción de sistema de infiltración	Gbl	1.00	C\$ 35,000.00	C\$ 35,000.00
	<b>Limpieza Final</b>				<b>C\$ 5,000.00</b>
001	Limpieza y Entrega Final	glb	1.00	C\$ 5,000.00	C\$ 5,000.00
<b>Sub Total</b>					<b>C\$ 4,247,266.84</b>
<b>IVA</b>					<b>C\$ 637,090.03</b>
<b>IR</b>					<b>C\$ 84,945.34</b>
<b>IM</b>					<b>C\$ 42,472.67</b>
<b>Total</b>					<b>C\$ 5,011,774.87</b>

Fuente propia

### 5.9. Estudio financiero para cálculo de tarifa

La cantidad de basura que se recolectada mensualmente y dispuesta en el vertedero municipal es de 140 m<sup>3</sup> aproximadamente.

### 5.9.1. Administración económica del servicio

La municipalidad atiende a 475 de un universo de 833 usuarios potenciales (viviendas). Los egresos operacionales ascienden a C\$142,457.871 anuales y se registran ingresos operacionales promedios de C\$16,780.00 según (Alcaldía Municipal de San Juan de Limay, 2017), lo cual equivale a un porcentaje de auto sostenibilidad, del 11.77%, es decir la alcaldía subsidia el servicio en un 88.22%. Lo expresado anteriormente se sistematiza en la tabla que viene a continuación:

**Tabla 25:** Tabla costo beneficio operacional de relleno sanitario

<b>Municipio</b>	<b>Auto coste habilidad (%)</b>	<b>Ingreso Operacional (C\$-anual)</b>	<b>Costo Operacional (C\$-anual)</b>	<b>Costo/m3 de basura recolectada (C\$-anual)</b>	<b>USUARIOS Atendida</b>
San Juan de Limay	11.77	16,780.00	142,457.871	84.79	475

Fuente: (Alcaldía Municipal de San Juan de Limay, 2017)

Utilizando la misma información, pero ahora dirigida a los usuarios se observa lo siguiente:

De 475 usuarios que se les brinda el servicio solo pagan en promedio 350 usuarios, es decir que 125 usuarios no pagan, ver cuadro siguiente.

<b>Municipio</b>	<b>Eficiencia del recaudo (%)</b>	<b>Usuarios que pagan</b>	<b>Total, de usuarios del servicio</b>
San Juan de Limay	73.6	350	475

### 5.9.2. Estudio tarifaria y estrategia de cobro

La población del casco urbano de San Juan de Limay es de 5251 habitantes que representan un estimado de 833 viviendas que son equivalentes al universo de viviendas a atender con la recolección.

Los resultados de los análisis reflejados en la tabla N° 26 Se indican los costos óptimos de inversión para el sistema de recolección y transporte de los residuos sólidos generados en el municipio de San Juan de Limay

La suma de estos costos de la recolección es de C\$142,457.871 (córdobas).

Desde el punto de vista financiero, para que la recolección sea sostenible, al menos los ingresos deben cubrir el costo del servicio de la limpieza pública, es decir se debe establecer una tarifa mensual por vivienda que genere un ingreso para recuperar los costos de operación del servicio. Considerando los datos de:

1. Costo anual de operación: C\$142,457.871
2. Población del urbana: 5251
3. Viviendas del casco urbano: 833
4. % de cobertura: 95 %
5. Costo de inversión del tratamiento y disposición: C\$1,363,109.42 (dato que proviene del estudio de costo y presupuesto del relleno sanitario).

Se determina la tarifa mensual a ser aplicada a la población y otros sectores del municipio de la manera siguiente:

$$\text{Tf Total/mes} = \text{Tf Recol} + \text{Tf Trt}$$

**Tarifa de Recolección (Tf Recol)** = (Egreso anual / 12 meses por año) / Número de Viviendas

Sustituyendo se tiene:

$$\text{Tf Recol} = \text{C\$142,457.871} / 12 \text{ meses} = \text{C\$11,871.48 mensual}$$

$$\text{Tf Recol} = \text{C\$11,871.48} / 833 \text{ viviendas}$$

$$\text{Tf Recol} = \text{C\$14.25 mensual/vivienda}$$

**Tarifa de Tratamiento y disposición (Tf Trt)** = (Egreso anual / 12 meses por año) / Número de Viviendas

Sustituyendo se tiene:

Inversión

$$\text{Tf Tr} = \text{C\$1,363,109.42} / 20 \text{ años} = \text{C\$68,155.471 anual}$$

$$\text{Tf Tr} = \text{C\$68,155.471} / 12 = \text{C\$5,679.62 mensual}$$

$$\text{Tf Tr} = \text{C\$5,679.62} / 833 \text{ viviendas}$$

$$\text{Tf Tr} = \text{C\$6.81 mensual/vivienda}$$

Sustituyen en la formula inicial:

$$\text{Tf Total/mes} = \text{Tf Recol} + \text{Tf Trt}$$

$$\text{Tf Total/mes} = \text{C\$14.25 mensual/vivienda} + \text{C\$6.81 mensual/vivienda}$$

$$\text{Tf Total/mes} = \text{C\$ 21.06} = 22 \text{ mensual/vivienda}$$

De acuerdo a los cálculos realizados, se debe cobrar a los pobladores del municipio una tarifa de 22 córdobas mensual por vivienda.

## **CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **6.1. CONCLUSIONES**

De acuerdo al diagnóstico elaborado a la población del municipio de San Juan de Limay, existe una gran demanda para la ejecución del relleno Sanitario, puesto que el botadero actual se encuentra al aire libre lo que representa una amenaza ambiental y para la salud de las personas que circulan en la zona.

Aunque se conoce la importancia de proteger el medio ambiente y el peligro que presentan los residuos sólidos no está totalmente clara entre la población la importancia y necesidad de una gestión apropiada de los residuos sólidos existiendo una adecuada disposición para colaborar en actividades referida a la separación en el origen.

Los residuos sólidos serán dispuestos en el lugar donde se encuentra ubicado el botadero a cielo abierto el cual es propiedad de la Alcaldía municipal, este cumple con los parámetros ambientales y topográficos necesarios para la construcción de un relleno sanitario.

La propuesta para el manejo Integral de residuos sólidos en el área estudiada permite fomentar un cambio de actitud por parte de las autoridades municipales hacia la población en general ante la necesidad asumir entre todos la responsabilidad de minimizar los impactos de la inapropiada disposición actual de los residuos sólidos al pretender disminuir las cantidades de contaminantes de los residuos.

Para la construcción del sistema de infiltración para eliminación de efluente tratado, es necesaria un área adicional a la establecida para la ejecución del relleno sanitario, por lo tanto, se propone drenar el agua y brindarla a dueños de terrenos aledaños al relleno para uso de riego.

Es necesaria la recuperación del capital invertido y así mismo la sostenibilidad del proyecto lo que será posible con la aplicación correcta y permanente de la tarifa establecida del servicio de recolección de los residuos.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

Se recomienda que se lleven a cabo acciones que garanticen el buen funcionamiento del relleno sanitario en el municipio de San Juan de Limay, durante el proceso de recolección hasta la disposición final de los residuos sólidos, entre ellas:

Garantizar higiene y seguridad laboral a todo el personal del relleno sanitario, disminuyendo los riesgos y daños a la salud e integridad física.

Se requiere que una persona dirija y oriente todas las operaciones del relleno sanitario con responsabilidad, para ello se recomienda un profesional capacitado.

Crear un plan de concientización a la población que permita asumir responsabilidades en la generación de los residuos sólidos, donde se le explique a la población la importancia de sacar sus residuos sólidos en los horarios y días establecidos según la ruta del vehículo recolector.

Que las autoridades correspondientes asuman el compromiso de brindar un servicio seguro, eficaz y frecuente, así como la eliminación de todos los botaderos clandestinos que afectan la salud de la población y promover el embellecimiento del municipio.

Elaborar una estrategia de aprovechamiento de biogás producido en el relleno sanitario del municipio de San Juan de Limay.

## Bibliografía

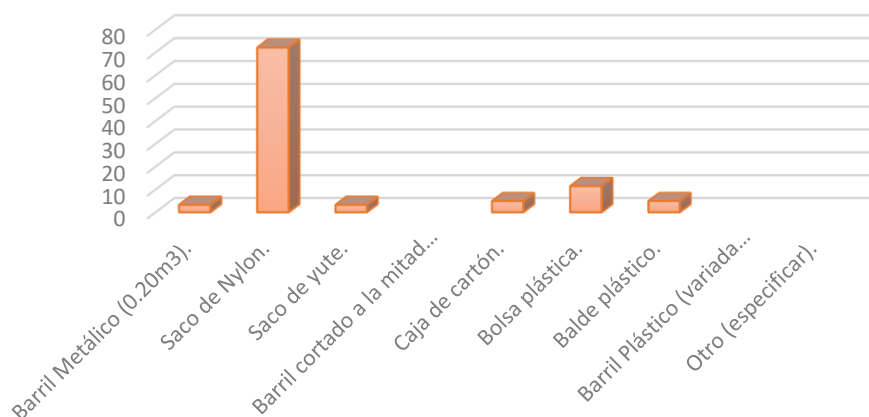
- Administracion en articulos, r. u. (Abril de 2004). *estrucplan*. Obtenido de <https://estrucplan.com.ar/articulos/efectos-de-la-inadecuada-gestion-de-residuos-solidos/>
- Alcaldía Municipal de San Juan de Limay. (2017). *Informe Servicios Municipales*. San Juan de Limay: Alcaldía Municipal San Juan de Limay.
- Angelone, S., & Tórriz, P. (2014). *GEOLOGIA Y GEOTECNIA*.
- Baca Urbina, G. (2001). *evaluación de proyectos*. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (1997). *Guía para evaluacion de impacto ambiental para proyectos de residuos solidos municipales*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Botía Diaz, W. A. (2015). *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CÁLCULO*. Bogota: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
- Camargo, & Velez. (2009). *Emisiones de biogas producidas en relleno sanitario*. Colombia: Universidad del Norte.
- Empresas públicas de Medellín. (2009). *Guía para el diseño hidráulico de redes de alcantarillado*. Medellín: epm.
- Guardado Aguilar, O. I., & Morales Gomez, F. A. (2017). *Estudio de pre factibilidad para el proyecto de urbanización de 300 viviendas de caracter social para pobladores de Ciudad Sandino*. Managua: UNI.
- Gutierrez Herrera, E. J., & Peinado Vallejos, H. A. (2013). *PROPUESTA DE DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO PARA LA DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TELPANCA, DEPARTAMENTO DE MADRIZ*. Managua: Universidad Centroamericana.
- Gutierrez Zarruk, A., & Pereira Cardenal, S. (2004). *Diseño de un plan integral de manejo de residuos solidos en la Universidad Centroamericana*. Managua: Universidad Centroamericana.
- INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS. (s.f.). *Guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales*. Nicaragua: INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS.
- Jaramillo, J. (1999). *Gestion integral de residuos solidos municipales- GIRSM*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Ministerio de ambiente. (2013). *Guia metodologica para el desarrollo del plan de manejo de residuos solidos*. Perú: Ministerio del ambiente.

- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN. (2018). *Guía para elaborar Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos Comunes*. Guatemala: Artes Litográficas, S. A.
- Rossin, A., Teixeira, P. F., Zepeda, F., & Acurio, G. (1997). *Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Ruiz Escoto, C. E., Martínez Gallardo, D. A., & Torres Paya, H. A. (2013). *Disposición Final y plan integral de gestión ambiental de los residuos sólidos en el casco urbano de La Trinidad, Estelí*. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Sakurai, K. (1980). *Diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos*. CEPIS.
- Santos Mendieta, R. I. (2001). *Diseño de relleno sanitario para el municipio de La Paz-Carazo*. Managua: UNI.
- Sierra Mercado, J. (2012). *Estudio de prefactibilidad tecno-económico y ambiental para la construcción del relleno sanitario del municipio de Estelí*. Estelí: FAREM.
- Tchobanoglous, G., Theissen, H., & Eliassen, R. (1982). *Desechos sólidos principios de ingeniería y administración*. Venezuela: Armando Cubillos.
- Tchobanoglous, G., Theissen, H., & Eliassen, R. (1982). *DESECHOS SÓLIDOS PRINCIPIOS DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN*. Mérida-Venezuela: Armando Cubillos.
- Vásconez, B. (s.f.). *ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN SITU*. UNIVERSIDAD CENTRAL DE ECUADOR: Ecuador.

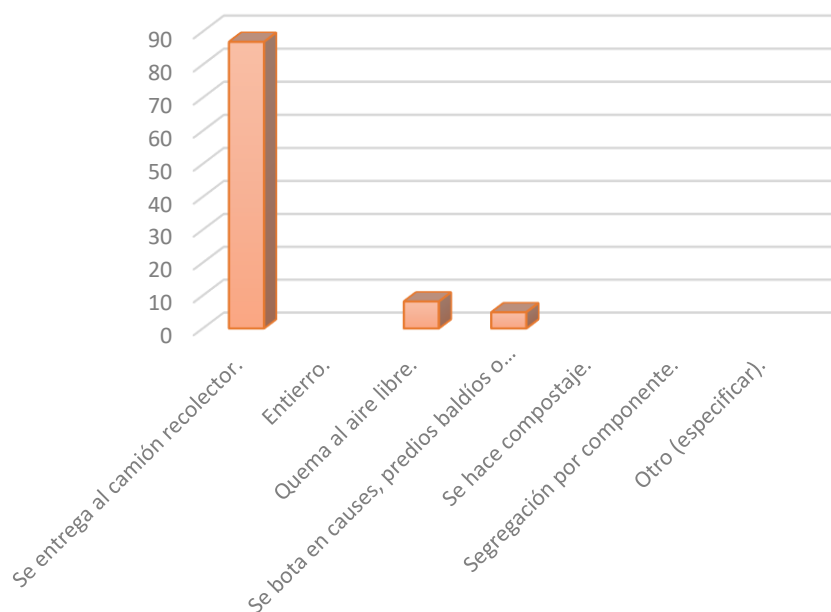


## Anexo A: encuestas realizadas a población muestral

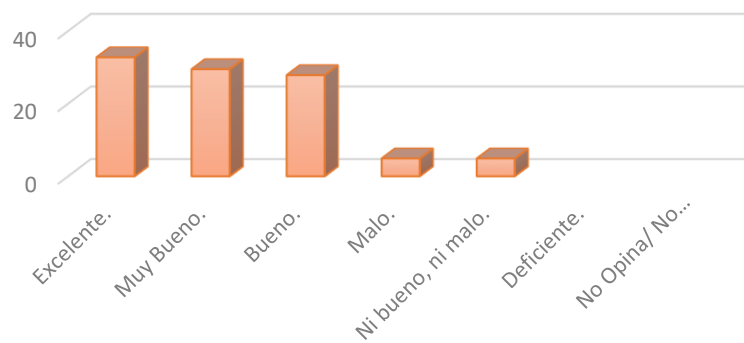
1.- ¿Qué tipo de recipiente es mayor mente utilizado en esta vivienda, para almacenar los Desechos Sólidos generados a diario?



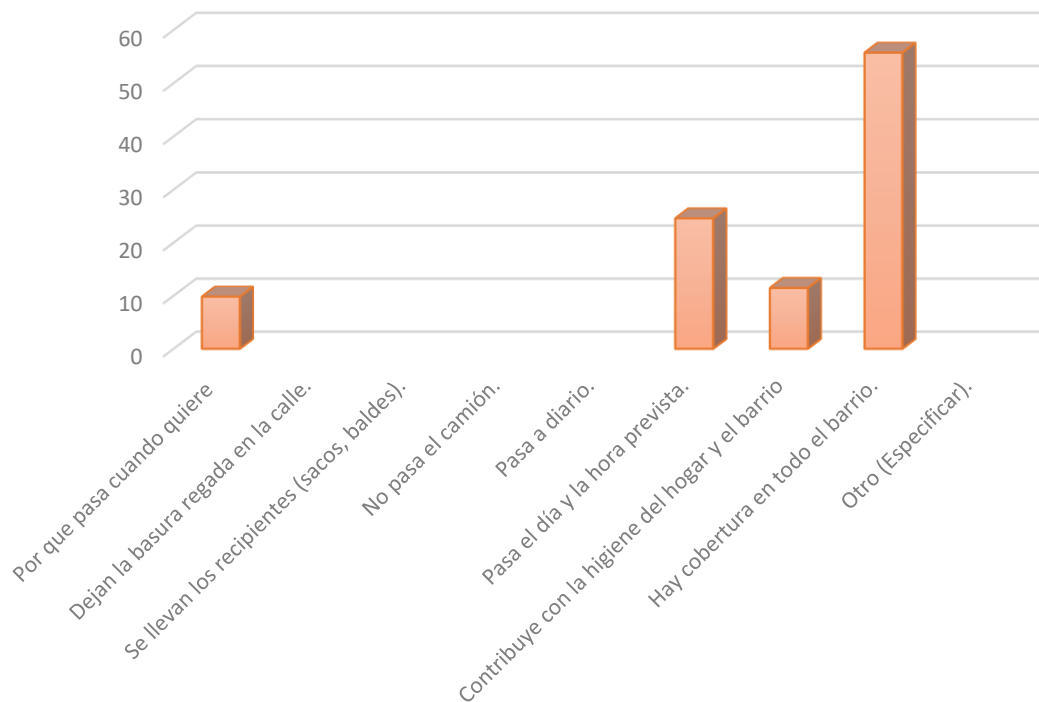
2.- ¿Que hace con los residuos sólidos que se producen en esta vivienda?



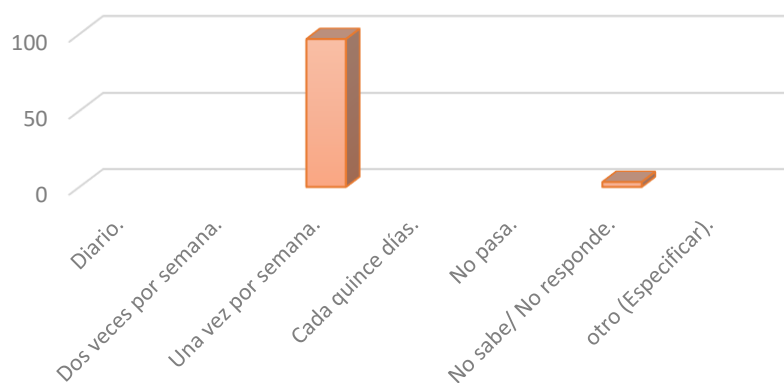
3.- ¿Cómo califica el servicio de recolección de desechos sólidos que presta la municipalidad? (Marque una sola opción)



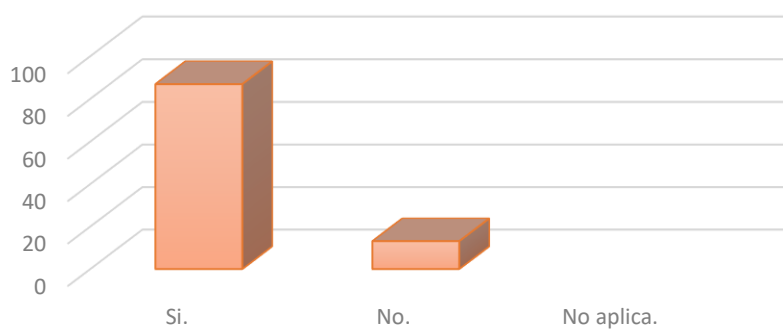
4.- ¿Por qué califica el servicio cómo? (reemplazar por la respuesta anterior)



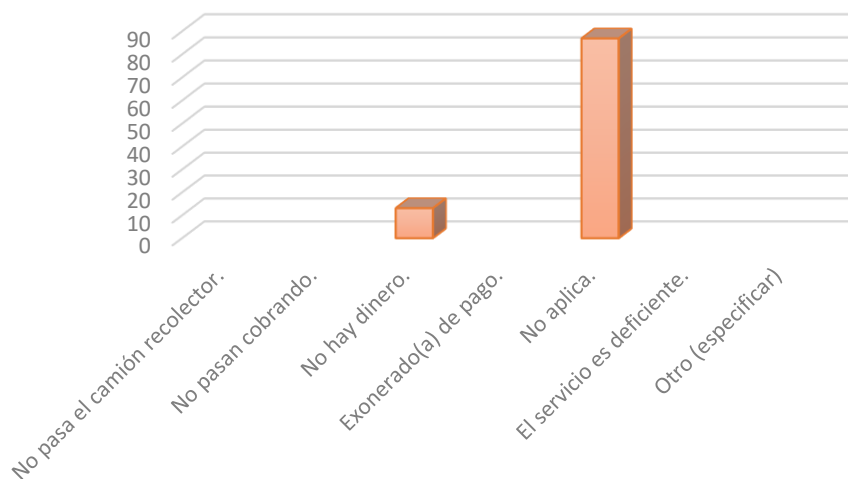
5.- ¿Con qué frecuencia pasa el camión recolector por su calle? si responde al inciso e) No pasa, pasar a la pregunta 13)



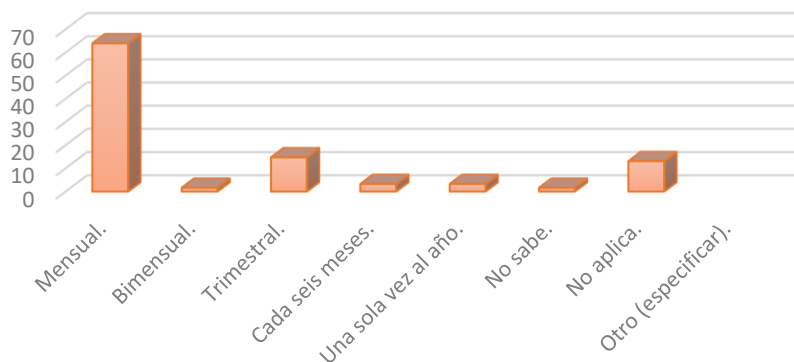
6.- ¿En esta vivienda se paga el servicio de recolección de los desechos? (si responde al inciso a-Si, no contestar la pregunta N° 8)



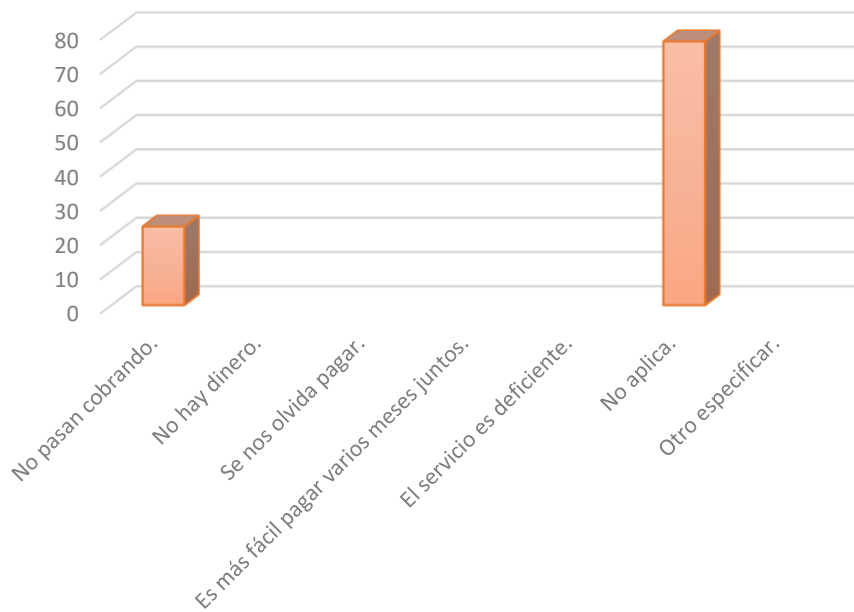
7.- ¿Por qué no se paga el servicio? (Aplicar, si en la pregunta anterior respondió al inciso b- No, en caso contrario marcar lo opción e- No aplica



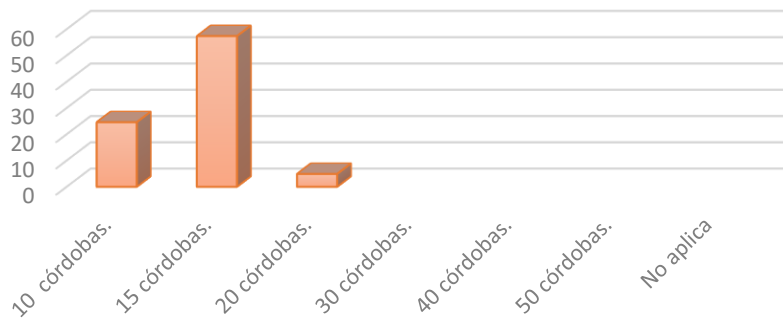
8.- ¿Con que regularidad se paga el servicio de recolección de desechos sólidos en esta vivienda? Si cae en el inciso g-, especificar



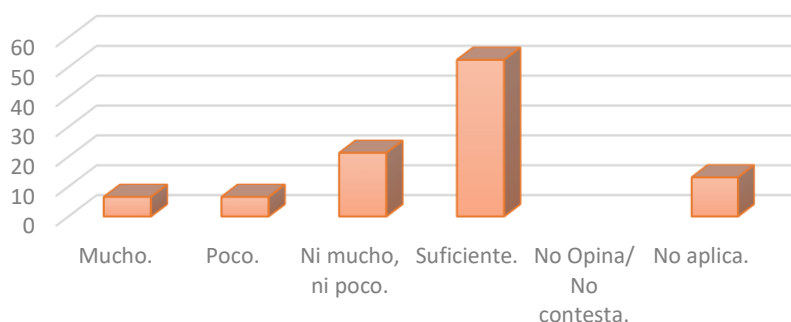
### 9.- ¿Por qué no se paga el servicio de forma mensual?



### 10.- ¿Cuánto se paga al mes en esta vivienda por el servicio de recolección de Desechos Sólidos? (si responde al inciso h- no sabe pasa a la pregunta 16)



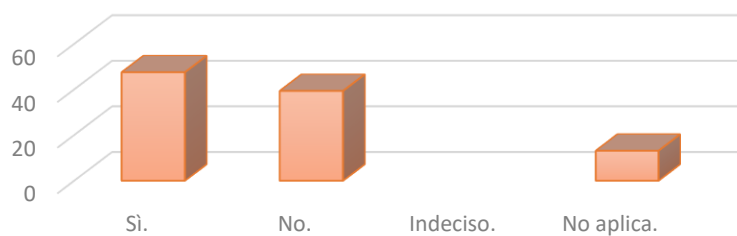
11.- ¿Cómo califica el monto de la tarifa cancelada a la Alcaldía Municipal, por la prestación del servicio de recolección de Desechos Sólidos a esta vivienda?



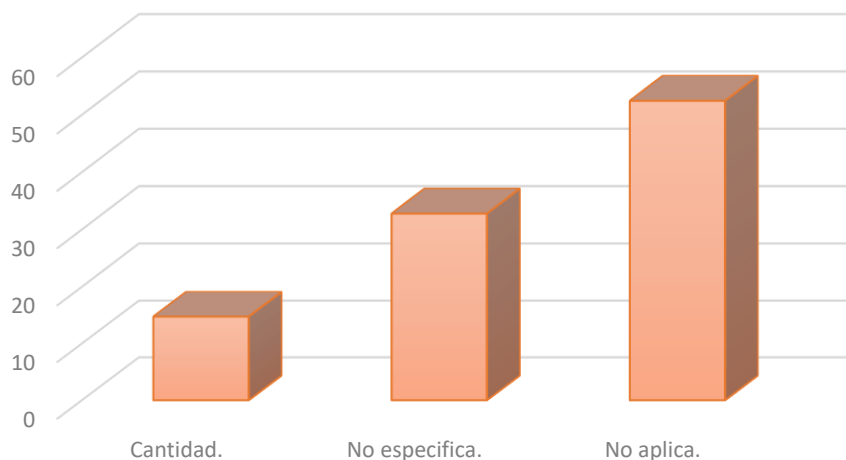
12.- ¿Si no paga el servicio de recolección estaría dispuesto usted o su familia a hacerlo, si la Alcaldía se comprometiera a mejorar la calidad de este, de manera significativa? Aplicar esta pregunta si en la pregunta 6) respondió al inciso b); NO PAGA,



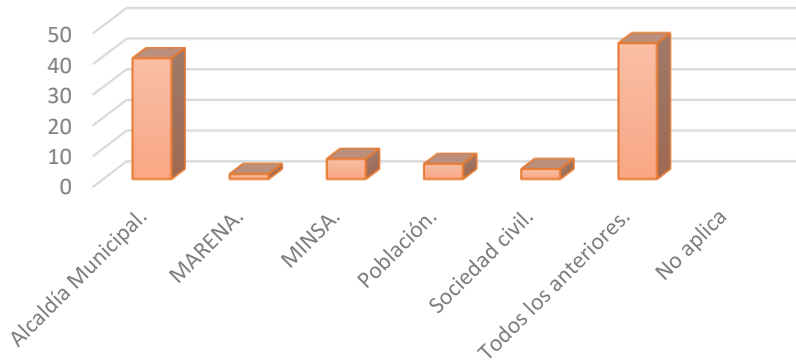
13.- ¿Si actualmente paga por el servicio, estaría dispuesto usted o su familia a pagar más, si la Alcaldía, se comprometiera a mejorar la calidad de éste, de manera significativa? (Si la respuesta a esta pregunta cae en los incisos B) o C), pasar a la p



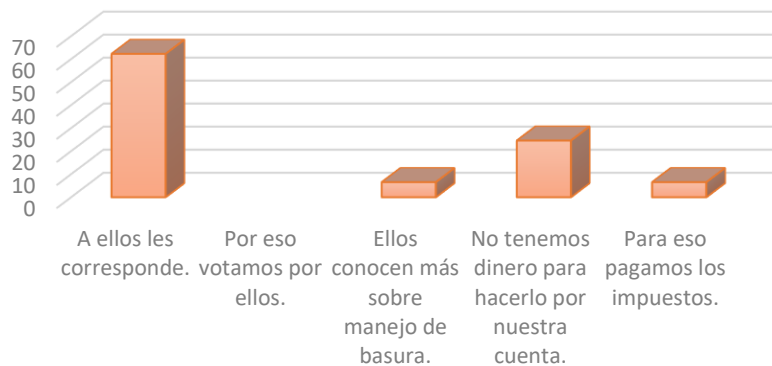
14.- ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar?



15.- ¿A quién corresponde solucionar los problemas relacionados al manejo de los desechos Sólidos (basura)?

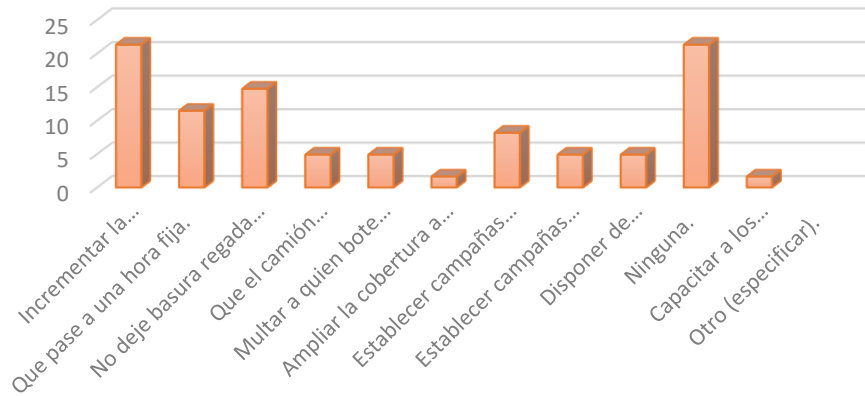


16.- ¿Porque considera que es responsabilidad de (Reemplazar por la opción, seleccionada en la pregunta anterior)?





17.-¿Qué sugerencia tiene para mejorar el  
serviciode recolección de desechos sólidos en el  
municipio?



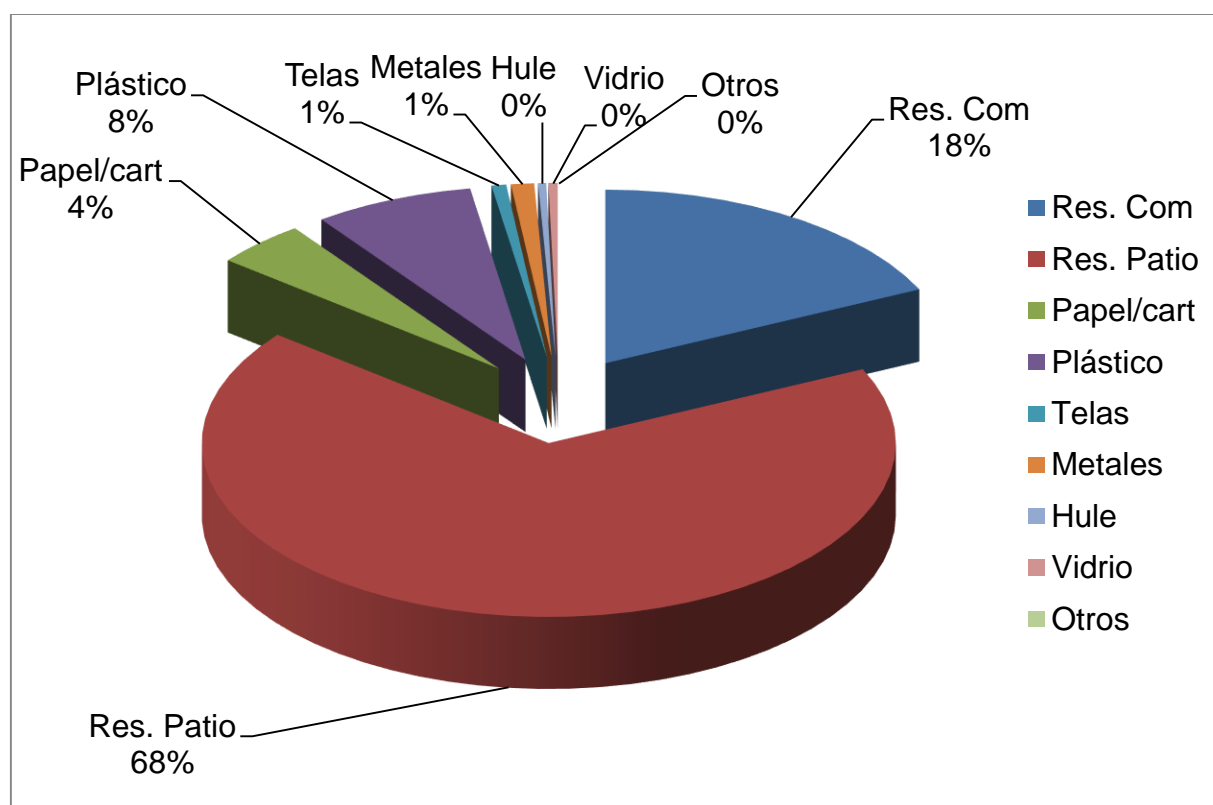
## Anexo B: Datos de proceso de cálculo

Tabla de valores que toma el coeficiente k

Grado de compactación	Valores de “K
Mayor a 0.7 Kg/m <sup>2</sup>	15% - 25 %
0.7 - 04 Kg/m <sup>2</sup>	25% - 50%

Fuente: (Gutierrez Zarruk & Pereira Cardenal, 2004)

Composición física de los residuos en San Juan de Limay



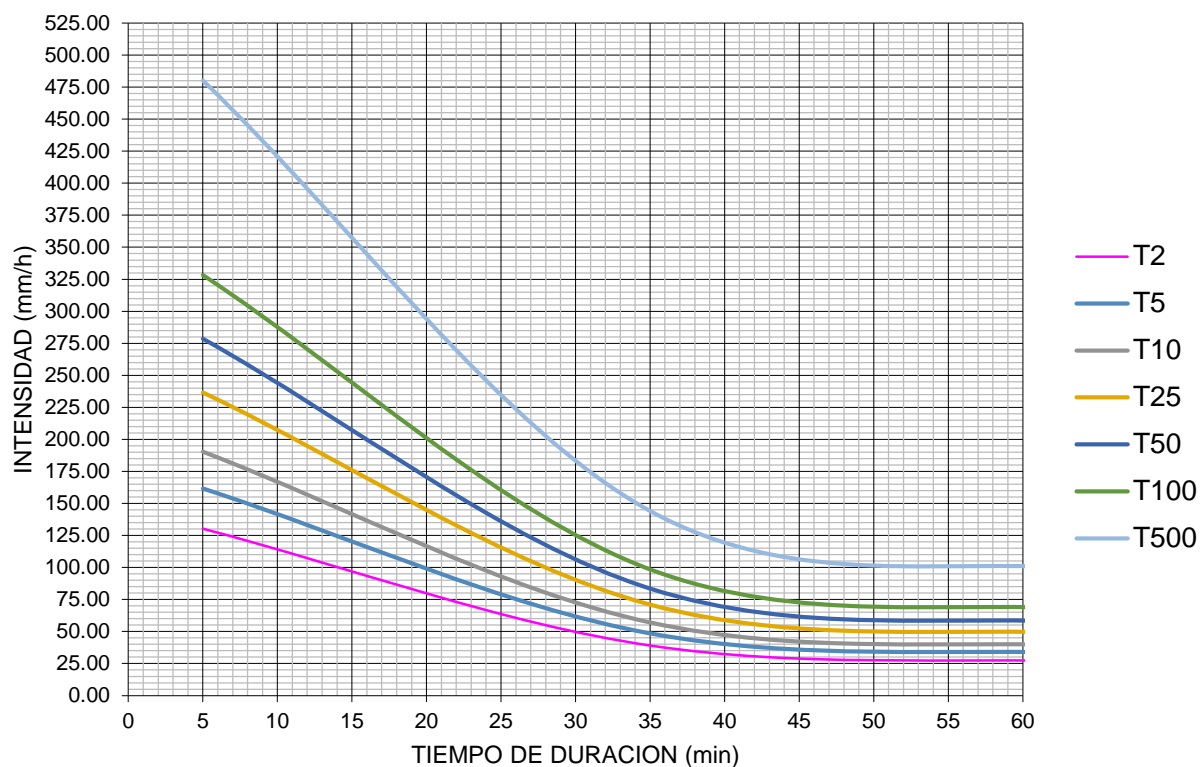
Elaboración propia

## Precipitaciones municipio de Estelí

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES													
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL													
Estación:	ECONDEGA					Código:	45050						
Departamento:	ESTELI					Municipio:	ESTELÍ						
Latitud:	13°22'06"					Longitud:	86°23'48"						
Años:	1998-2016					Elevación:	560 msnm						
Parámetro:	Precipitación Máxima Absoluta (mm)					Tipo:	HMP						
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Maximo
1998	0.0	0.0	14.9	2.0	43.1	57.7	97.8	81.3	39.6	352.0	28.4	0.9	352.0
2012	1.4	1.1	0.1	40.0	118.4	57.3	9.6	23.7	18.8	37.2	1.4	0.9	118.4
2013	1.3	0.7	0.8	1.1	53.4	58.8	17.7	40.9	111.7	20.3	2.5	3.8	111.7
2001	1.0	2.9	5.9	0.4	81.6	42.0	7.5	37.5	99.8	11.0	11.3	0.0	99.8
2011	0.2	9.6	0.3	1.9	51.1	47.5	24.0	41.4	51.7	91.3	4.0	0.5	91.3
2016	0.3	0.0	3.9	40.4	63.2	47.0	21.3	60.3	15.6	83.9	5.9	8.0	83.9
2010	2.8	2.9	15.1	47.7	28.5	28.1	42.4	77.5	38.1	29.9	20.8	0.0	77.5
2009	1.4	1.1	0.7	0.6	29.6	74.0	20.0	39.0	19.0	11.5	4.6	16.7	74.0
2005	0.2	17.8	4.7	23.4	57.0	73.5	49.5	39.4	27.6	23.8	17.0	0.5	73.5
2008	1.1	31.3	2.3	1.2	65.0	27.5	26.0	38.9	35.8	72.5	0.1	0.3	72.5
2003	0.8	3.5	20.9	0.1	22.9	67.2	10.0	12.9	25.9	34.8	14.5	4.7	67.2
2014	1.4	0.3	3.8	1.4	8.1	18.0	12.2	64.5	24.7	40.5	6.3	0.9	64.5
2007	0.6	0.2	12.8	31.6	22.9	37.6	19.1	62.5	47.1	28.0	3.4	2.0	62.5
2015	3.3	13.5	1.8	32.8	3.0	55.8	25.5	5.5	61.8	54.3	20.0	4.5	61.8
1999	2.2	37.5	10.4	4.0	24.8	15.4	59.9	25.0	35.2	28.5	21.2	1.0	59.9
2002	1.0	4.2	0.7	6.0	47.4	44.2	11.1	9.5	26.6	39.8	7.2	0.5	47.4
2004	1.6	0.1	9.3	10.8	6.3	16.5	11.7	12.2	45.9	45.0	25.4	0.2	45.9
2006	1.7	0.7	1.2	31.6	18.5	40.9	22.8	7.2	34.3	45.4	7.0	7.6	45.4
2000	3.5	2.4	0.0	0.0	35.6	4.7	15.3	12.0	31.8	23.6	0.7	7.5	35.6
Suma	99.0	237.0	560.9	1128.3	2648.6	2387.8	1263.5	1762.4	2409.4	2613.8	795.5	210.1	4407.6
Media	1.7	4.2	9.7	19.5	44.9	40.5	21.4	29.9	40.8	44.3	13.7	3.7	74.7
Max	12.7	37.5	102.6	117.6	118.4	104.1	97.8	98.2	111.7	352.0	69.0	24.8	352.0
Min	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	4.7	6.5	5.5	8.7	5.6	0.1	0.0	20.4

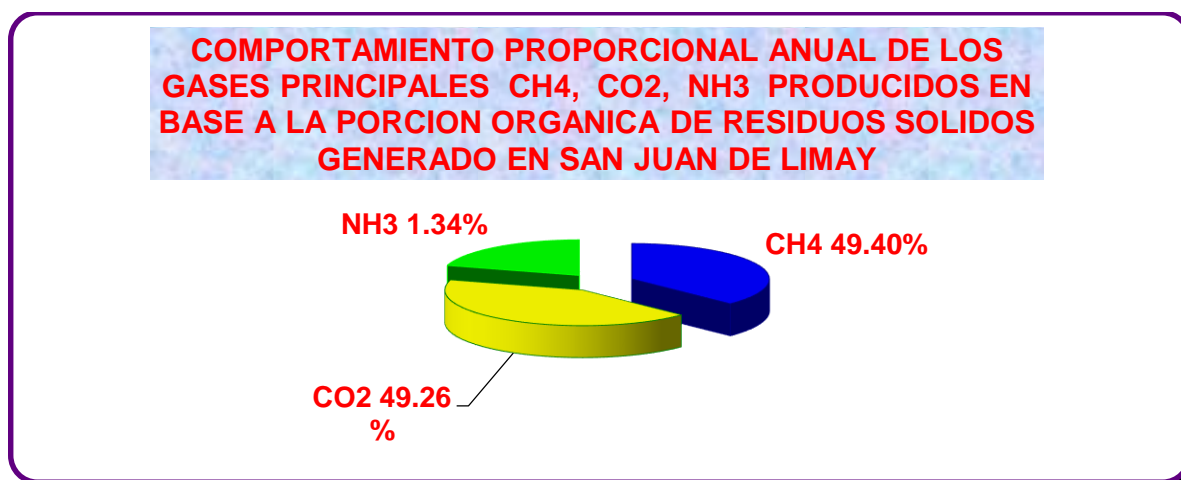
Fuente:INETER

## Curva IDF para el municipio de San Juan de Limay




Fuente: INETER

Porcentaje de gases producidos en San Juan de Limay




Fuente: PhD. Edouard Jacotin

## Parámetros de residuos sólidos en San Juan de Limay



**Universidad Nacional de Ingeniería**  
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo  
 Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente  
 Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

**CERTIFICADO DE ENSAYOS**

AR-1908-0089

CLIENTE		DIRECCIÓN		TELÉFONO	
Veyra Zambrana / Jansí Castillo		San Juan de Limay		NR	
ATENCIÓN		CARGO		EMAIL	
Veyra Zambrana / Jansí Castillo		Tesis		veyra2038@gmail.com	
				CELULAR	
				8623-5756	

FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO			FECHA DE EMISIÓN DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	NÚMERO DE MUESTRAS
INGRESO	INICIO DE ANALISIS	FINAL DE ANALISIS			
09/08/2019	09/08/2019	19/08/2019	20/08/2019	3594	Una (01)

Fecha y Hora de Muestreo: 09/08/2019 ; 2:00 PM

Muestreado por: Veyra Zambrana / Jansí Castillo

Supervisor de Muestreo en Campo: Ph.D. Edouard Jacotín

Punto: Lixiviado de Desechos Sólidos

Tipo de muestra: Agua Residual Puntual

Observaciones de Ubicación: San Juan de Limay

Coordenadas: NR


Codificación PIENSA: LA-1908-0714

METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	UNIDAD	VALOR DE CONCENTRACION PUNTO DE MUESTREO 1
4500-B	Potencial de Hidrógeno	pH	4.98
2320-B	Alcalinidad Total	mg/L	519.00
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	15,746.80
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	13,000.00
2540-E	Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	3,450.00
2540-B	Sólidos Totales Volátiles	mg/L	14,734.00
2540-E	Sólidos Suspendedos Volátiles	mg/L	1,633.33
2540-B	Sólidos Totales	mg/L	9,192.00
2540-F	Sólidos Sedimentables	mL/L	16.00
4500-B	Nitrógeno Total	mg/L	266.56

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. Abreviaturas y símbolos: S al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NE= No especificada en la Norma, NR= No Reporta. Métodos empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017. EPA = Environmental Protection Agency.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada por el Cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente



Ing. María Lina Gómez  
Coordinadora de Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

0001240

Dirección: (505) 2278-1462 • Área Académica: 2270-5613 y 8866-6702 (M) • Atención al Cliente: 8406-8566 (C) y 8152-7314 (M)  
 Coordinación de Laboratorios: 8100-0421 (M) • e-mail: [piensa@uni.edu.ni](mailto:piensa@uni.edu.ni) • Web: [www.piensa.uni.edu.ni](http://www.piensa.uni.edu.ni)

Fuente: Piensa UNI

## Generación de residuos sólidos

Instalaciones de producción, actividades o localizaciones típicas asociadas con varias clasificaciones de fuentes		
Fuentes	Localizaciones donde se generan los desechos	Tipos de desechos sólidos
Residencial	Residenciales unifamiliares y multifamiliares, edificios, departamentos de poca, mediana y gran altura	Desechos de alimentos, desperdicios, cenizas y desechos especiales
Comercial	Tiendas, restaurantes, mercados, edificios de oficina, hoteles, moteles, almacenes de impresos, reparación de automóviles, instalaciones médicas e instituciones, etc.	Desechos de alimentos, desperdicios, cenizas, desechos de demolición y construcción, desechos especiales, desechos ocasionalmente peligrosos
Municipal industrial	Construcción, fabricación, manufacturas ligeras y pesadas, refinerías, plantas químicas, madera, minería, generación de electricidad, demolición, etc.	Desechos de alimentos, desperdicios, cenizas, desechos de demolición y construcción, desechos especiales, desechos peligrosos.
Áreas libres	Calles, avenidas, parques, terrenos vacantes, terrenos de juego, playas, autopistas, áreas recreacionales, etc.	Desechos especiales, desperdicios.

Sitios de plantas de tratamiento	Agua, aguas residuales y procesos industriales de tratamiento, etc.	Desechos de plantas de tratamiento, compuestos principalmente de lodos residuales.
Agrícolas	Cultivos, huertos, viñedos, ordeñaderos, corrales de ganado y animales, granjas, etc.	Desechos de alimentos compuestos, desechos de la agricultura, desperdicios, desechos peligrosos.

**Fuente:** (Tchobanoglous, Theissen, & Eliassen, Desechos sólidos principios de ingeniería y administración, 1982)

Características de recipiente para almacenamiento de residuos sólidos

Características de los tamaños y tipos de recipientes usados para almacenamiento de los desechos sólidos					
Capacidad			Dimensiones		
	Unidad	Rango	Típico	Unidad	Típico
<b>Pequeño</b>					
Recipiente plástico o metal galvanizado	Gal	20-40	30	Pg	20D x 26H (30 gal)
Barril, plástico, aluminio o fibra	Gal	20-65	30	Pg	20D x 26H (30 gal)
Bolsas desechables	Gal	20-55	30	Pg	15W x 12d x 43H (30 gal)

de papel estándar					
Resistente a escapes	Gal	20-55	30	Pg	15W x 12d x 43H (30 gal)
A prueba de escapes	Gal	20-55	30	Pg	15W x 12d x 43H (30 gal)
<b>Recipiente mediano</b>	yd3	1-10	4	Pie	72W x 42d x 65H (4 yd3)
<b>Recipiente grande</b>					
Abierto arriba con rodamiento	yd3	12-50	±	Pie	8W x 6H x 20L (35 yd3)
Usado con compactador estacionario	yd3	20-40	±	Pie	8W x 6H x 18L (30 yd3)
Equipado con mecanismo de compactación incluido	yd3	20-40	±	Pie	8W x 8H x 22L (30 yd3)
recipiente montado en tráiler					
Abierto arriba	yd3	20-50	±	Pie	8W x 12H x 20L (35 yd3)
Cerrado, equipado con mecanismo de Compactación	yd3	20-40	±	Pie	8W x 12H x 24L (35 yd3)

**Fuente:** (Tchobanoglous, Theissen, & Eliassen, DESECHOS SÓLIDOS PRINCIPIOS DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN, 1982)



## Tipos de recipiente para almacenamiento de residuos solidos

<b>Aplicaciones y limitaciones típicas de los recipientes usados para almacenamiento de residuos sólidos en el origen</b>		
<b>Tipo de recipiente</b>	<b>Aplicaciones típicas</b>	<b>Limitaciones</b>
<b>Pequeño</b>		
Recipiente, plástico o metal galv.	Fuentes de desecho de muy poco volumen, como casas,	Los recipientes se dañan con el tiempo y se
	sendas en parques, pequeños estanques y pequeños establecimientos comerciales aislados; áreas residenciales de poca altura con servicio de recolección asignado.	degradan en apariencia y capacidad; los recipientes aumentan el peso que se debe levantar durante las operaciones de recolección; los recipientes no son suficientemente grandes para contener desechos voluminosos.
Bolsas de papel Desechables	Casas individuales con servicio de recolección; se pueden usar solas o como forro interior de un recipiente doméstico; áreas residenciales de altura baja y media.	El almacenamiento en las bolsas es más costoso; si las bolsas se colocan sobre las aceras, los perros y otros animales las rompen y esparcen su contenido, las bolsas mismas aumentan los desechos.

Bolsas de plástico Desechables	<p>Casas individuales con servicio de recolección, se</p> <p>pueden usar solas o como forro interior de un recipiente;</p> <p>para climas fríos, las bolsas son útiles para guardar</p> <p>basura húmeda dentro de recipientes domésticos lo mismo que en recipientes comerciales; áreas comerciales e industriales.</p>	<p>El almacenamiento en las bolsas es más costoso;</p> <p>las bolsas se desgarran fácilmente produciendo dispersión y condiciones desagradables, las bolsas</p> <p>se vuelven quebradizas en climas muy fríos, se producen roturas, el poco peso y la durabilidad del plástico crea problemas posteriores de disposición.</p>
	<p>Fuentes de desechos de volumen medio que también</p> <p>pudieran tener desechos voluminosos; la ubicación se</p> <p>debe seleccionar para la recolección, proceso directo de</p> <p>camiones, áreas residenciales de alta densidad, áreas comerciales e industriales.</p> <p>Áreas comerciales de gran volumen, desechos</p>	<p>La nieve dentro de los recipientes forma hielo y disminuye la capacidad mientras aumenta el peso;</p> <p>es difícil alcanzar a los recipientes después de nevadas fuertes.</p> <p>El costo inicial es alto, la nieve dentro de los</p>

Recipientes grandes de tapa abierta	voluminosos en áreas industriales: la ubicación debe estar en un área cubierta con acceso directo de camiones.	recipientes reduce su capacidad.
Recipiente usado con compactador estacionario	Áreas comerciales con volúmenes muy altos de desechos, la ubicación debe ser fuera de las edificaciones con acceso directo de los camiones de recolección.	El costo inicial es alto, si se compacta demasiado el recipiente es difícil descargarlo en el lugar de disposición.

**Fuente:** (Tchobanoglous, Theissen, & Eliassen, DESECHOS SÓLIDOS PRINCIPIOS DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN, 1982)

#### Comparación de servicios de recolección

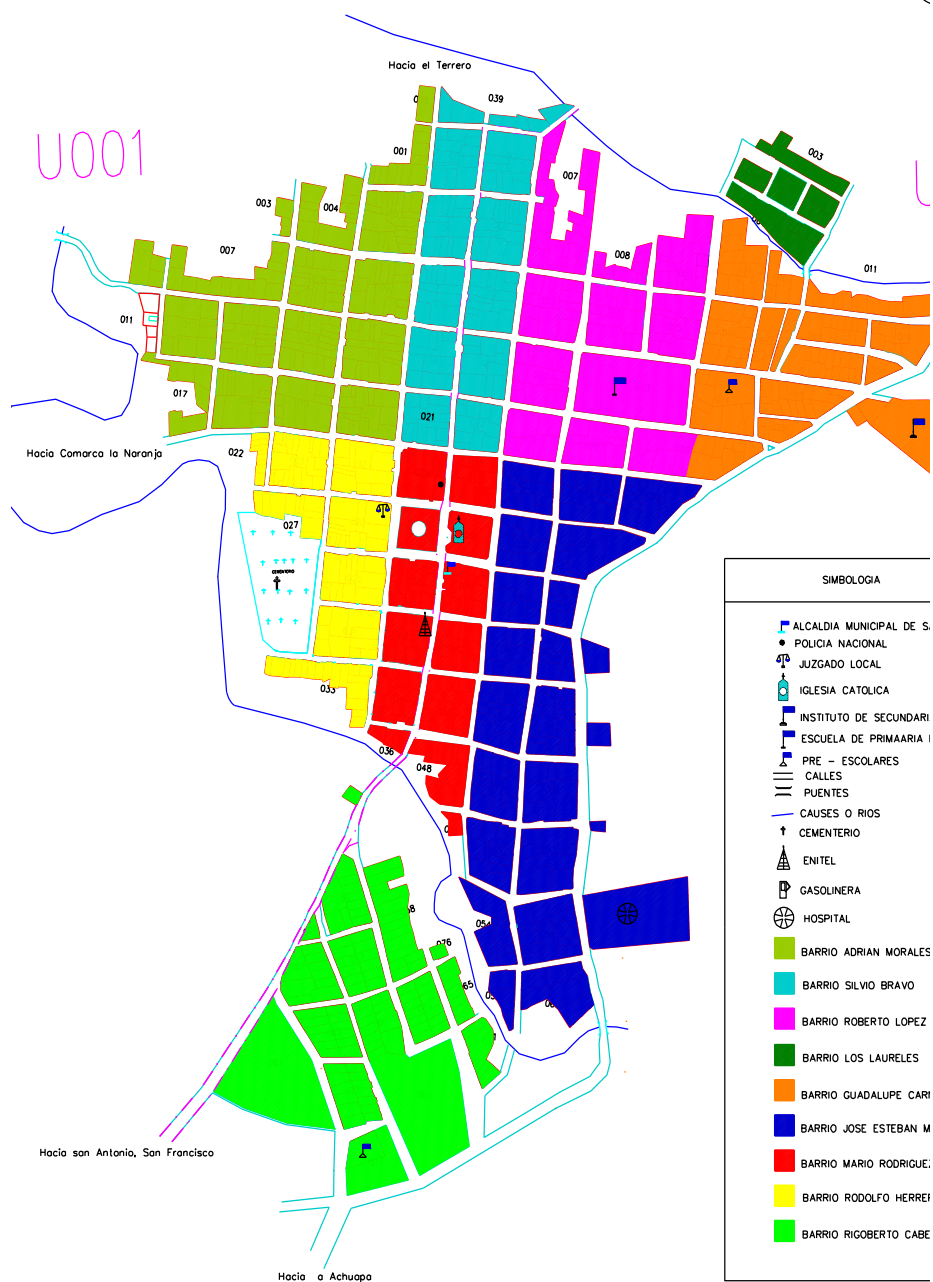
Consideraciones	Tipo de servicio				
	Acera	Callejuela	Salida y devuelta	Salida	Acarreo desde el patio
<b>Requiere cooperación del residente:</b>					
Para acarrear recipientes llenos	Si	Opcional	No	No	No
Acarrear recipientes vacíos	Si	Opcional	No	Si	No
Requiere horario de servicio para la cooperación del residente	Si	No	No	Si	No
<b>Estéticamente pobre:</b>					
Problema de dispersión	Elevado	Elevado	Bajo	Elevado	Bajo
Recipientes Visibles	Si	No	No	No	No
Atractivo a los zopilotes	Si	Máximo	No	No	No
Propenso a desarreglos	Si	Si	No	Si	No
Numero promedio de personas necesarias en la cuadrilla para eficiencia	1 a 3 personas	1 a 3 personas	3 a 7 personas	1 a 5 personas	3 a 5 personas

Tiempo de cuadrilla	Poco	Poco	Grande	Intermedi a	Elevada1
Tasa de lesiones de recolector debido a levantar y acarreo	Baja	Baja	Elevado	Intermedi a	Elevada
Quejas por traspasar la propiedad	Pocas	Pocas	Muchas	Muchas	Muchas
Consideraciones especiales		Requiere callejuelas y vehículos que puedan maniobrar en ellas, menos propenso a bloquear el tráfico: tasa de depreciaciones de vehículos y recipientes elevada.			Requiere de carrito con ruedas para acarrear recipientes llenos o el uso de arpillera o barril de mano, trabaja mejor con calzadas.
<b>Costo debido a:</b>					
El tamaño de la cuadrilla y exigencias del tiempo	Bajo	Bajo	Bajo	Elevado	Medio

Fuente: (Tchobanoglous, Theissen, & Eliassen, Desechos sólidos principios de ingeniería y administración, 1982)

## Anexo C: mapa de zonificación San Juan de Limay

### CASCO URBANO DE SAN JUAN DE LIMAY ↖

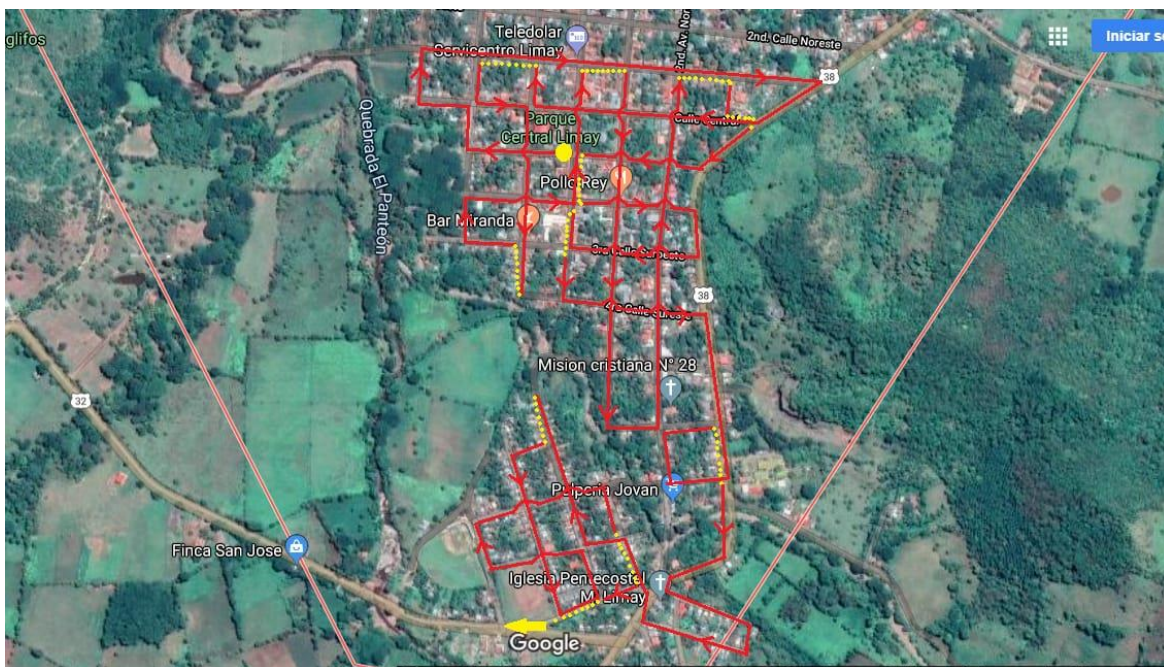


Fuente: Alcaldía municipal San Juan de Limay

## Anexo D: Propuesta de ruta para recolección de residuos sólidos



Ruta Nº 1.



Ruta Nº 2.



## Anexo E: Fotográfico

### E-1: Proceso de caracterización en San Juan de Limay







**F: Planos topográficos y diseño de trincheras**